



A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

~~SECRET~~
~~SECRET~~
TAJNE

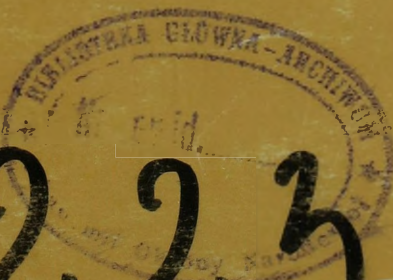
Egz. nr 1



Kpt. mgr inż. Mieczysław MULKOWSKI

OPTYMALIZACJA
PROCESU KIEROWANIA OBRONĄ
PRZECIWLOTNICZĄ WOJSK
OPERACYJNYCH PODCZAS
ODPIERANIA NALOTÓW
NIEPRZYJACIELA POWIETRZNEGO

Rozprawa doktorska



12232

WARSZAWA 1985





**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**

IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

~~12232~~
~~12232~~
TAJNE

Egz. nr 1



Kpt. mgr inż. Mieczysław MULKOWSKI

**OPTYMALIZACJA
PROCESU KIEROWANIA OBRONĄ
PRZECIWLOTNICZĄ WOJSK
OPERACYJNYCH PODCZAS
ODPIERANIA NALOTÓW
NIEPRZYJACIELA POWIETRZNEGO**

Rozprawa doktorska



12232

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP
im. gen. broni Karola Świerczewskiego

WOJSKOWY INSTYTUT INFORMATYKI
FILIA NR 1

Przekł. Prot. 779/21.08.95 *[initials]*

~~Do użytku
służbowego~~
~~TAJNE~~
Egz. nr 1

Kpt. mgr inż. Mieczysław MULKOWSKI



OPTIMALIZACJA PROCESU KIEROWANIA OBRONĄ PRZECIWLOTNICZĄ
WOJSK OPERACYJNYCH PODCZAS ODPIERANIA NALOTÓW
NIEPRZYJACIELA POWIETRZNEGO

Rozprawa doktorska



KIEROWNICTWO NAUKOWE

płk doc. dr Tadeusz MIROWSKI

WARSZAWA 1985

SPIS TREŚCI

	Strona
WSTĘP	4
Rozdział I. EFEKTYWNOŚĆ JAKO MIARA JAKOŚCI PROCESU KIEROWANIA-DEFINIOWANIE ORAZ SPOSOBY POMIARU	13
I.1. Efektywność, efektywność bojowa i skuteczność - definiowanie	16
I.2. Ilościowe wskaźniki oceny efektywności bojowej w systemie obrony przeciwlotniczej ...	24
Rozdział II. MODEL FUNKCJONOWANIA SYSTEMU OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ W WALCE Z NIEPRZYJACIELEM POWIETRZNYM	43
II.1. Nieprzyjaciel powietrzny	47
II.2. Podsystem ognia obrony przeciwlotniczej	56
II.3. Podsystem rozpoznania nieprzyjaciela powietrznego i powiadamiania	69
II.4. Podsystem dowodzenia - stanowiska dowodzenia i punkty dowodzenia obroną przeciwlotniczą..	76
II.4.1. Uzyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej przez ogniwa decyzyjne	81
II.4.2. Proces decyzyjny	84
II.4.3. Uzyskiwanie informacji o stanie gotowości bojowej i działalności bojowej podwładnych oraz wpływ tych danych na jakość procesu decyzyjnego	101
II.5. Działania bojowe lotnictwa myśliwskiego wydzielonego do realizacji zadań obrony przeciwlotniczej	104
II.6. System oprogramowania symulacyjnego	106
Rozdział III. OPTIMALIZACJA ROZWIĄZAŃ - METODA I APARAT BADAWCZY	110
III.1. Optimalizacja w warunkach wielorakości celów	112
III.1.1. Koncepcja maksymalnej użyteczności	117
III.1.2. Koncepcja maksymalnej efektywności	121
III.1.3. Koncepcja optymalizacji sekwencyjnej	122
III.1.4. Koncepcja optymalizacji celowej	124
III.1.5. Koncepcja minimalnej straty	125
III.1.6. Implikacje wielokryterialności w odniesieniu do działań optymalizacyjnych	126

	Strona	
III.2.	Poszukiwanie i dobór obszaru rozwiązań dopuszczalnych	128
III.3.	Oszacowanie wiarygodności wyników modelowania oraz ocena realności modelu systemu	143
III.4.	Metodologiczne aspekty planowania procesu badań oraz statystycznej obróbki rezultatów eksperymentów w badaniach optymalizacyjnych ..	157
III.4.1.	Identyfikacja funkcji obiektu badań na drodze eksperymentalnej	159
III.4.1.1.	Plany kompletne	162
III.4.1.2.	Plany monoselekcyjne	163
III.4.1.3.	Plany selekcyjne	165
III.4.1.4.	Plany randomizowane	180
III.4.1.5.	Analiza wyników badań eksperymentalnych	184
III.4.2.	Plany optymalizacyjne - czyli poszukiwanie ekstremum funkcji - F	192
III.5.	Porównywanie eksperymentów	196
Rozdział IV.	BADANIA SYSTEMU METODĄ MODELOWANIA SYMULACYJNEGO	202
IV.1.	Warunki prowadzenia działań bojowych uwzględniane w badaniach systemu OPL	204
IV.2.	Dobór wariantów rozwiązań systemowych uwzględnianych w procesie badawczym	206
IV.3.	Metoda badawcza i organizacja procesu badań ..	211
IV.4.	Badania systemu	220
IV.5.	Wnioski	241
ZAKOŃCZENIE		250
WYKAZ LITERATURY		255
WYKAZ OZNACZEŃ I SKRÓTÓW		261

WSTĘP

Systematyczny rozwój sił powietrznych państw NATO, zwiększenie potencjalnych możliwości bojowych środków napadu powietrznego oraz ciągły wzrost nakładów na uzbrojenie i związane z jego modernizacją programy naukowo-badawcze, zmuszają Siły Zbrojne Państw Członków Układu Warszawskiego do nieustannego doskonalenia systemów obrony przeciwlotniczej. Potencjalny przeciwnik ufnym w moc własnego potencjału gospodarczego, pewny przewagi technologicznej opracowuje m.in. koncepcję rozciągniętego pola walki, czyli bitwy powietrzno-lądowej /Airland Battle/. W celu przeciwstawienia się jego zamiarom, uniemożliwienia mu osiągnięcia panowania w powietrzu i zapewnienia skutecznej osłony własnym wojskom, konieczne jest zwiększenie możliwości bojowych systemu OPL wojsk operacyjnych w stopniu odpowiadającym wzrostowi potencjalnego zagrożenia z powietrza.

Wzmocnienie obrony przeciwlotniczej można osiągać różnymi metodami m.in. przez zwiększanie ilości sił i środków OPL oraz ich modernizację, lub przez doskonalenie metod i sposobów ich użycia. Szczególną uwagę i nadzieję należy wiązać z tą drugą możliwością, wskazawaną wielokrotnie przez przełożonych m.in. przez Ministra Obrony Narodowej i Dowódcę Wojsk OPL.

Sytuacja ekonomiczna naszego państwa narzuca konieczność rozważnego i oszczędnego gospodarowania ograniczonymi zasobami finansowymi. Rzetelne i ścisłe badania jakości aktualnych i prognozowanych rozwiązań w zakresie systemów wojskowych mają więc szczególne znaczenie. Ścisła weryfikacja i wybór najbardziej efektywnych wariantów rozwiązań konieczne są na wszystkich etapach projektowania, konstruowania i wykorzystywania systemów uzbrojenia.

Nowoczesne systemy uzbrojenia wojsk OPL mają duże możliwości skutecznego działania ale są jednocześnie bardzo kosztowne. Konieczne jest więc tworzenie warunków do właściwego i pełnego wykorzystywania ich potencjału bojowego w ewentualnym konflikcie zbrojnym. W tym świetle olbrzymie znaczenie ma odpowiednio wysoki poziom kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych, tym bardziej, że przewidywane nakłady niezbędne dla doskonalenia kierowania są znacznie niższe niż wymagane przy zakupach systemów uzbrojenia. Potrzeba prowadzenia naukowej analizy i optymalizacji procesu kierowania wynika w istotnej części również z faktu, że potencjalne możliwości

bojowe wojsk OPL, szczególnie znaczne w zakresie rozpoznawania i rażenia nieprzyjaciela powietrznego, w wielu sytuacjach nie mogą być skutecznie wykorzystywane w procesie walki, m.in. ze względu na niedostatecznie sprawne kierowanie. Sposób kierowania oparty o planszety i foniczną łączność nie w każdym warunkach pozwala bowiem na efektywne realizowanie funkcji nałożonych na podsystem dowodzenia. Przyczyną tego są m.in. następujące zjawiska:

- powstawanie znacznych opóźnień czasowych i mała dokładność informacji w procesach zbierania, przetwarzania i przesyłania danych o sytuacji powietrznej;
- nadmierne w stosunku do ograniczonej przepustowości obciążenie kanałów łączności oraz organów decyzyjnych;
- niedostateczne przystosowanie aktualnych zestawów środków technicznych do realizowania funkcji kierowania w przyjętych strukturach organizacyjnych^{x/}; itp.

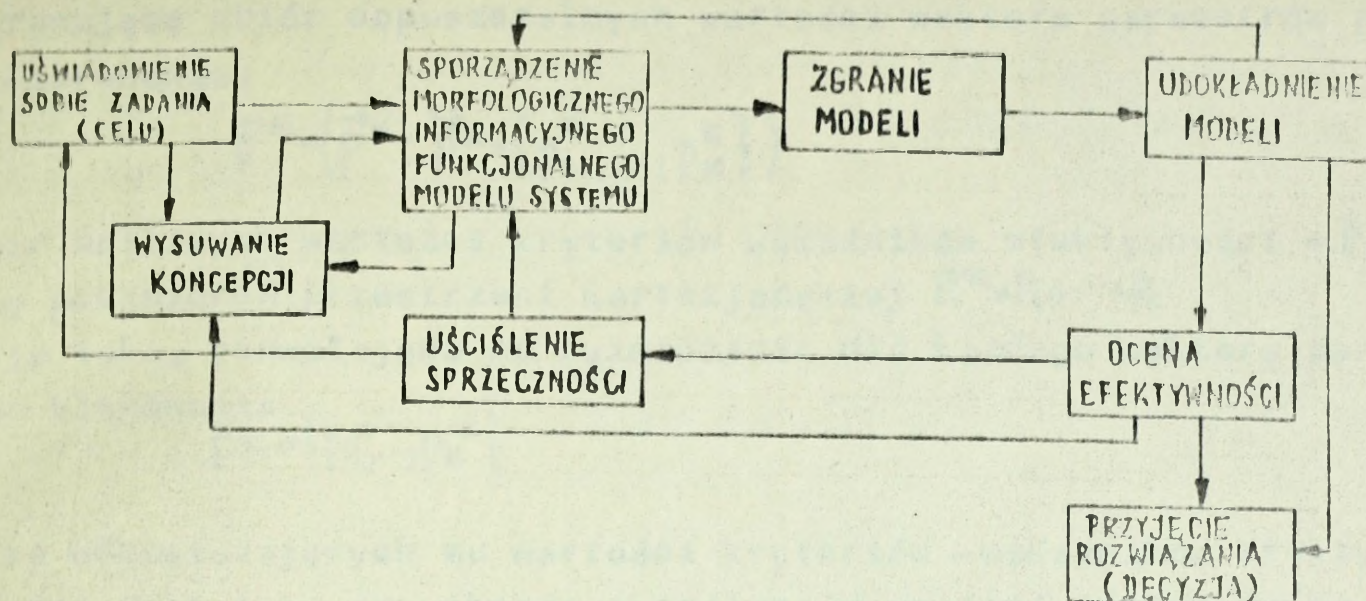
Modernizacje w podsystemie dowodzenia są w takiej sytuacji koniecznością. Dla sprośnienia nowym wymaganiom planuje się wprowadzenie do wojsk OPL Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia^{xx/}, opracowano jego koncepcję i plan wdrażania a prototypowe obiekty tego systemu przechodzą już badania kwalifikacyjne.

W związku ze zmianami powstającymi w procesie kierowania istnieje potrzeba dokładnej analizy wpływów różnych składowych tego procesu na jego wypadkową jakość w celu wypracowywania rozwiązań optymalnych.

Ogólny schemat postępowania w procesie doskonalenia systemów wojskowych można za pracą /15/ przedstawić następująco:

x/ Zjawisko takie występuje np. w DPanc podczas kierowania działalnością bojową dywizyjnego prplot KUB z PD OPL ZT. Kierowanie ogniem w prplot oparte jest o zautomatyzowany system dowodzenia K-1 /KRAB-1/ natomiast w relacji PD OPL ZT-SD prplot stosuje się sposób planszeto-foniczny. Kierowanie z PD OPL ZT odbywa się za pośrednictwem dodatkowego elementu, czyli RPD REKIN-2 szefa sztabu prplot.

xx/ Koncepcję Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia przedstawiono w załączniku nr 10.



Rys.1.

W tak zarysowanym schemacie wyróżnić można trzy podstawowe grupy zagadnień:

- modelowanie działania systemu /sporządzenie modelu systemu; zgranie modeli; udokładnianie modeli/;
- ocena efektywności wariantów rozwiązań;
- tworzenie i przyjmowanie rozwiązań do realizacji /wysuwanie koncepcji; uściślenie sprzeczności; przyjęcie rozwiązania - decyzja/.

Podstawowe znaczenie ma tutaj sporządzenie odpowiedniego modelu odwzorowującego zjawiska i procesy związane z kierowaniem obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych. Modelowanie jest bowiem praktycznie jedynym sposobem badania systemu OPL w skali operacyjnej, gdyż z wielu powodów^{x/} dane dotyczące funkcjonowania systemu w realnych warunkach bojowych nie są dostępne. Model winien być z jednej strony wystarczająco dokładny i adekwatny do rzeczywistości po to m.in. aby umożliwić obserwację zjawisk i procesów, jednocześnie powinien być rozwiązywalny po to, aby zapewnić ocenę efektywności badanych rozwiązań. Decyzje mogą być bowiem racjonalne tylko wówczas, gdy określone są wskaźniki oceny jakości rozwiązań. Trzeba więc znać funkcję efektywności

$$E: P^k \rightarrow K \subset R^n$$

x/ Niektóre z tych powodów omówiono w rozdziale II. Ogólnie można je przedstawić jako:

- nieadekwatność doświadczeń z lokalnych konfliktów zbrojnych;
- brak możliwości prowadzenia badań poligonowych w odpowiedniej skali w warunkach dostatecznie zbliżonych do przyszłego pola walki;
- brak pełnego wyposażenia w sprzęt, szczególnie dotyczy to systemów projektowanych.

odzworowującą zbiór dopuszczalnych wartości wektora parametrów procesu kierowania:

$$P^k = (\vec{P}^k : \vec{p}^k = \{p_1^k, \dots, p_k^k\})$$

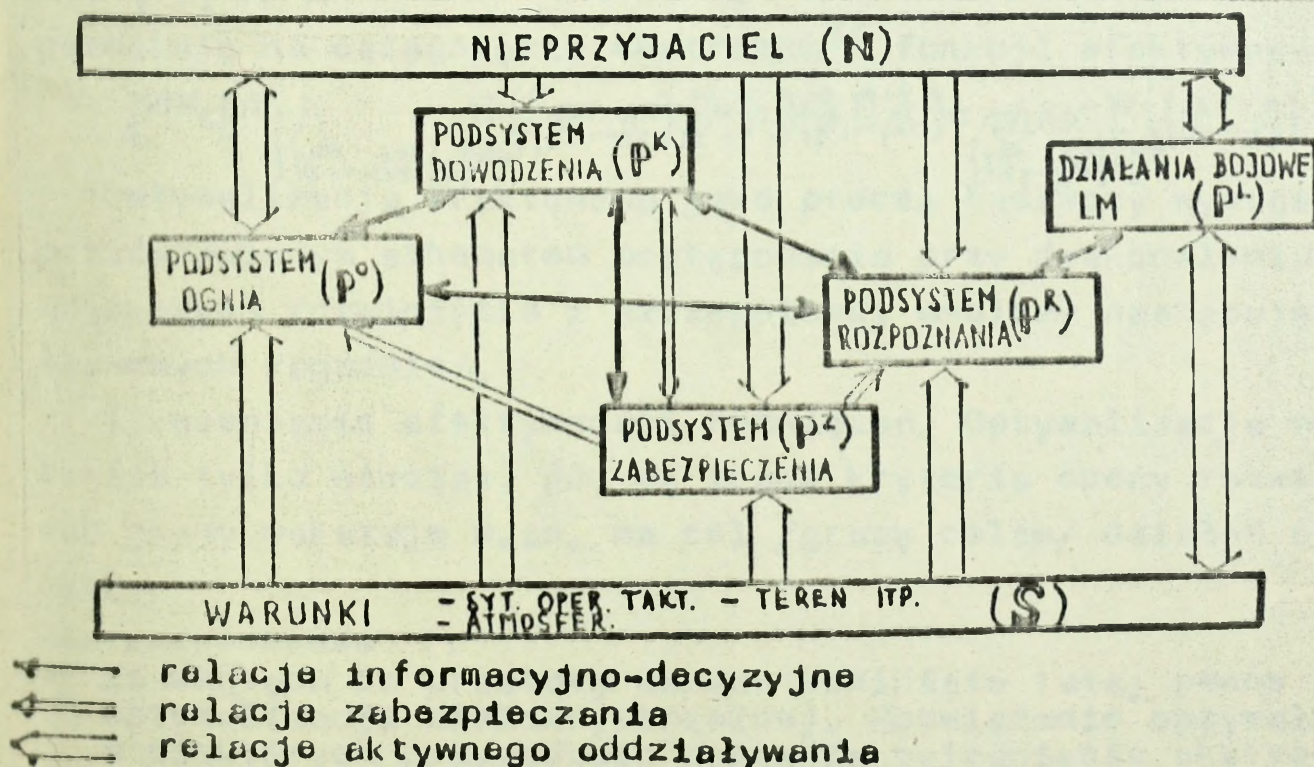
zbiór możliwych wartości kryteriów wskaźników efektywności - K , będący podzbiorem przestrzeni kartezjańskiej $R^n = R \times \dots \times R$

Funkcja taka, pozwalająca na wyznaczenie dla każdego wektora parametrów kierowania

$$\vec{p}^k = \{p_1^k, \dots, p_k^k\}$$

wektora odpowiadających mu wartości kryteriów - wskaźników efektywności nie jest jak dotychczas określona w postaci jawnej zależności funkcyjnej. Próby tworzenia adekwatnych w stosunku do rzeczywistości modeli analitycznych jak dotychczas nie powiodły się. Wynika to m.in. z faktu, że przedstawiony powyżej zapis funkcji efektywności jest znacznie uproszczony. Podczas walki systemu OPL z nieprzyjacielem powietrznym występują liczne i skomplikowane sprzężenia między różnorodnymi zjawiskami i procesami we wszystkich podsystemach, a kierowanie jest tylko częściowym procesem wchodzącym w skład ogólnego procesu walki. Zgodnie z zasadami podejścia systemowego w badaniach należy uwzględniać systemowe otoczenie działań i procesów; czyli nie tylko wybrany proces ani podsystem, ale cały system OPL, nieprzyjaciela powietrznego i warunki działania.

Stosując się do tego zalecenia ogólny model funkcjonalny systemu OPL można zobrazować przy pomocy następującego schematu:



Rys. 2.

Po uwzględnieniu faktu licznych wzajemnych powiązań między podsystemami a ich otoczeniem funkcja efektywności ulega przekształceniu i rozwinięciu do następującej postaci:

$$E: P^K \times P^O \times P^Z \times P^L \times N \times S \rightarrow K \subset R^n$$

gdzie:

- P^K - zbiór parametrów podsystemu dowodzenia;
- P^O - zbiór parametrów podsystemu ognia;
- P^Z - zbiór parametrów podsystemu zabezpieczenia;
- P^R - zbiór parametrów podsystemu rozpoznania;
- P^L - zbiór parametrów charakteryzujących działania bojowe lotnictwa myśliwskiego;
- S - zbiór parametrów opisujących warunki, w których funkcjonuje system OPL /sytuację oper.-takt., warunki atmosferyczne, teren itp./;
- N - zbiór parametrów charakteryzujących nieprzyjaciela.

Duża ilość parametrów i znaczna złożoność powiązań funkcjonalnych praktycznie uniemożliwiają wyznaczenie jawnej zależności funkcyjnej.

Używając wprowadzonych wyżej symboli, optymalizację procesu kierowania można przedstawić jako działanie ukierunkowane na wyznaczenie rozwiązań optymalnych, czyli podzbioru wartości parametrów kierowania $P^K \subset P^K$ takich, które w założonych warunkach:

$$(\vec{p}^O, \vec{p}^Z, \vec{p}^R, \vec{p}^L; \vec{S} - \text{const}, \vec{p}^O \in P^O, \vec{p}^Z \in P^Z, \vec{p}^R \in P^R, \vec{p}^L \in P^L)$$

pozwalają na osiągnięcie ekstremum^{x/} funkcji efektywności

$$P^K \subset P^K \cdot \bigwedge_{\{p_1^{*k}, \dots, p_k^{*k}\} \in P^K} E(\{p_1^{*k}, \dots, p_k^{*k}\}, \vec{p}^O, \vec{p}^Z, \vec{p}^R, \vec{p}^L, N, \vec{S}) = \max_{\{p_1^k, \dots, p_k^k\} \in P^K} E(\{p_1^k, \dots, p_k^k\}, \vec{p}^O, \vec{p}^Z, \vec{p}^R, \vec{p}^L, N, \vec{S})$$

Optymalizacja traktowana jako proces badawczy wymaga zgodnie z przedstawionym schematem postępowania przy doskonaleniu systemów wojskowych rozwinięcia i szczegółowej analizy następujących, podstawowych zagadnień.

1. ocenianie efektywności rozwiązań. Optymalizacja możliwa jest bowiem tylko wówczas, gdy są znane kryteria oceny rozwiązań. Sposób oceny wskazuje m.in. na cel /grupę celów/ działań optymalizacyjnych;

x/ Ze względu na prostotę zapisu pominięto tutaj pewne aspekty optymalizacji wielokryterialnej. Rozwiązanie optymalne tylko w niektórych przypadkach zapewnia osiągnięcie ekstremów wszystkich kryteriów cząstkowych. Szerzej przedstawiono to w podrozdziale III.1.

2. modelowanie systemu OPL. Jak to już zaznaczono, modelowanie jest jedynym sposobem kompleksowego badania systemu OPL w skali operacyjnej. Tylko dzięki modelowaniu można określać ściśle i mierzalne wskaźniki jakości rozwiązań, oraz badać zmiany zachodzące w funkcjonowaniu systemu;

3. tworzenie i przyjmowanie nowych rozwiązań, oraz organizacja procesu badań. Zagadnienia te wymagają rozwiązania z tego m.in. względu, że złożoność systemu OPL i wynikająca stąd praktycznie nieograniczona ilość możliwych wariantów rozwiązań i implikują konieczność dokonywania odpowiedniej selekcji rozwiązań przed przystąpieniem do badań. Podczas prowadzenia badań wynikają również liczne problemy natury metodologicznej związane m.in. z planowaniem układu eksperymentów, oceną adekwatności modelowania, określeniem dokładności rezultatów itp.

Wymienione tutaj grupy zagadnień analizowane są szczegółowo w trzech pierwszych rozdziałach pracy.

Zgodnie z tytułem, przedmiotem rozprawy jest optymalizacja procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. Sformułowanie użyte w tytule rozprawy należy rozumieć w ten sposób, że podczas optymalizacji:

- rozważania dotyczą głównie szczebla operacyjnego, nie analizuje się problemów o charakterze strategicznym, a zjawiska szczebla taktycznego analizuje się jedynie w wybranym zakresie - tam gdzie jest to niezbędne dla potrzeb rozwiązań ogólniejszych;

- z całości działań realizowanych w wojskach obrony przeciwlotniczej rozpatruje się przede wszystkim te, które bezpośrednio związane są z odpięaniem nalotów ŚNP nieprzyjaciela;

- przedmiotem analizy jest proces kierowania obroną przeciwlotniczą oraz te zjawiska i procesy, które warunkują i wpływają na jego przebieg.

Wyjaśnienia na wstępie wymagają także pewne kwestie związane z nazewnictwem. Otóż termin "kierowanie" w literaturze wojskowej używany jest w różnorodnych znaczeniach^{x/}. W krańcowych przypadkach rozumiany jest albo bardzo ogólnie i dowodzenie traktuje się jako jedną z postaci kierowania, bądź bardzo wąsko i utożsamiany jest wtedy z kierowaniem ogniem. W rozprawie "kierowanie obroną _____
^{x/} W załączniku 1 przedstawiono różne sposoby definiowania tego pojęcia.

przeciwlotniczą" traktuje się jako część składową procesu dowodzenia. Należy to interpretować w ten sposób, że spośród licznych funkcji systemu dowodzenia obroną przeciwlotniczą^{x/} w pracy wyróżnia się i analizuje głównie te, które są związane z kierowaniem rozpoznaniem i ogniem podczas odpiierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego^{xx/}.

Znaczenie pojęcia "kierowanie" przyjęte w rozprawie jest w warstwie treściowej zbliżone do określenia "kierowanie ogniem"^{xxx/} używanego w odniesieniu do wojsk obrony przeciwlotniczej na szczeblu taktycznym. Podstawowe różnice polegają na tym, że w rozprawie szerzej uwzględnia się procesy zbierania, analizy i opracowania informacji o sytuacji powietrznej oraz powiadamiania wojsk obrony przeciwlotniczej, natomiast nie analizuje się zbyt dokładnie proce-

x/ /Np. Cz. Gozdecki w pracy /26/ wyróżnia następujące funkcje systemu dowodzenia:

1. Planowanie i organizacja obrony przeciwlotniczej na szczeblu pułku, dywizji, armii i frontu;
2. Organizowanie i realizacja współdziałania z sąsiednimi systemami /z systemami OPL sąsiadów, OPK i OPL MW/ oraz z osłanianymi wojskami i obiektami;
3. Dowodzenie operacyjno-taktyczne wojskami OPL w czasie wykonywania przez nie zadań osłony wojsk i obiektów;
4. Koordynacja działań wojsk OPL i lotnictwa myśliwskiego wydzielonego do zadań OPL w czasie odpiierania nalotów ŚNP przeciwnika, oraz organizacja i realizacja współdziałania naziemnych środków OPL z lotnictwem myśliwskim;
5. Kierowanie całokształtem pracy bojowej RPW, procesem zbioru, analizy i opracowania informacji radiolokacyjnej oraz powiadamianiem wojsk OPL o sytuacji powietrznej, a także ostrzeganiem osłanianych wojsk i obiektów o zagrożeniu z powietrza;
6. Kierowanie działalnością bojową /ogniem i pracą bojową/naziemnych środków OPL w czasie zwalczania celów powietrznych;
7. Uprzedzanie naziemnych środków OPL o przelotach własnego lotnictwa przez strefy ich ognia /oddziaływań/;
8. Organizacja i realizacja przedsięwzięć związanych z zabezpieczeniem bojowym działań wojsk OPL;
9. Kierowanie przedsięwzięciami związanymi z podnoszeniem i utrzymaniem gotowości bojowej wojsk OPL oraz kompleksową oceną stanu gotowości bojowej tych wojsk;
10. Kierowanie całokształtem przedsięwzięć związanych z materiałowo-technicznym zabezpieczeniem wojsk OPL.

xx/ W szczególności chodzi tu o następujące przedsięwzięcia związane z kierowaniem siłami i środkami obrony przeciwlotniczej:

- wykrywanie i rozpoznawanie obiektów powietrznych;
- uprzedzenie i powiadamianie wojsk;
- ocena sytuacji powietrznej;
- ocena możliwości bojowych podległych sił i środków obrony przeciwlotniczej;
- podejmowanie decyzji do odparcia nalotu;
- stawianie zadań podwładnym do zwalczania nieprzyjaciela powietrznego i kontrola ich wykonania.

xxx/ Definicje pojęcia "kierowanie ogniem" używane w odniesieniu do oddziałów i związków taktycznych wojsk obrony przeciwlotniczej przedstawiono w załączniku 1.

eu osiągnięcia przez wojska wyższych stopni gotowości bojowej. W trakcie badań szczególna uwaga skupiona jest na przebiegu procesów informacyjno-decyzyjnych i określaniu ich wpływu na globalną efektywność systemu OPL podczas działań bojowych.

W rozprawie wykonuje się dwa podstawowe zamierzenia.

Pierwszym z nich jest teoretyczna analiza podstawowych zagadnień związanych z optymalizacją procesu kierowania obroną przeciwlotniczą oraz tworzenie i dobór aparatu naukowego umożliwiającego prowadzenie badań optymalizacyjnych.

Drugie zamierzenie polega na zilustrowaniu i praktycznej prezentacji dorobku teoretycznego, przez zastosowanie go do badań związanych z oceną efektywności Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia planowanego do wprowadzenia w wojskach OPL.

Układ pracy odwzorowuje wstępne założenia. Praca składa się z dwóch części odpowiadających poszczególnym celom badawczym.

Pierwsza część pracy składająca się z rozdziałów I, II i III ma charakter głównie teoretyczny i poświęcona jest analizie podstawowych zagadnień związanych z metodą badawczą przeznaczoną do optymalizacji procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych. Dobór zagadnień ujętych w tej części rozprawy wynika z przedstawionego już, przyjętego za pracę /15/ ogólnego schematu postępowania przy doskonaleniu systemów wojskowych.

Drugą część pracy stanowi rozdział IV, w którym prezentowane są badania doświadczalne wykonane dla potrzeb rozprawy. Badania te stanowią ilustrację praktycznego zastosowania metody teoretycznej, jednocześnie są realizacją zadania badawczego związanego z planowaniem rozwojowym w Wojskach OPL realizowanym w DW OPL.

Praca składa się z wstępu, czterech rozdziałów i zakończenia, do których dołączono 27 załączników.

Rozdział I poświęcony jest analizie zagadnień związanych z definiowaniem i oceną efektywności rozwiązań systemowych. Wskazuje się w nim na znaczną niejednorodność istniejących poglądów zarówno w zakresie rozumienia i definiowania pojęć, jak i sposobu określania oraz pomiaru ilościowych wskaźników efektywności w systemie OPL. Dokonuje się w związku z tym krytycznej oceny stosowanych rozwiązań oraz przedstawia pewne własne propozycje w tym zakresie.

Rozdział II zawiera analizę zagadnień związanych z modelowaniem systemu OPL dla potrzeb badań optymalizacyjnych. Prezentuje się w

nim opis symulacyjnego modelu systemu OPL, ujmującego nie tylko proces kierowania, lecz w szerokim zakresie, z uwzględnieniem licznych sprzężeń i powiązań, całokształt podstawowych zjawisk i procesów zachodzących w systemie podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego.

W rozdziale III przedstawia się i analizuje podstawowe zagadnienia metodologiczne związane z przygotowaniem, organizacją i prowadzeniem badań optymalizacyjnych. Omawia się w nim problematykę wypracowywania i selekcji wariantów rozwiązań systemowych; prezentuje implikacje wielokryterialności jako zjawiska, które komplikuje proces weryfikacji i wyboru najkorzystniejszych rozwiązań; przedstawia się specjalne zagadnienia związane z oceną adekwatności i wiarygodności rezultatów modelowania symulacyjnego, oraz metody organizowania i prowadzenia eksperymentów, statystycznej obróbki wyników, porównywania i wyboru rozwiązań optymalnych.

Rozdział IV zawiera opis badań systemowych związanych z oceną efektywności zastosowania Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia w Wojskach OPL. Badania te jak już wspomniano są z jednej strony praktyczną ilustracją zastosowania teoretycznej metody badawczej, z drugiej zaś związane są z realizacją zadania badawczego wynikającego z potrzeb planowania rozwojowego w Wojskach OPL. W rozdziale IV przedstawia się założenia badawcze, opis procesu badań i uzyskane rezultaty, oraz spostrzeżenia i wnioski wyprowadzone w oparciu o te badania.

Dopełnieniem do pracy jest opracowanie nie stanowiące jej integralnej części, zawierające szczegółową dokumentację procesu symulacyjnego modelowania na EMC.

ROZDZIAŁ I

EFEKTYWNOŚĆ JAKO MIARA JAKOŚCI PROCESU KIEROWANIA - DEFINIOWANIE ORAZ SPOSOBY POMIARU

Optymalizacja procesu kierowania traktowana jako działanie mające na celu znalezienie rozwiązań najkorzystniejszych w założonych warunkach, możliwa jest tylko w warunkach mierzalności jakości rozwiązań. Konieczne jest więc posiadanie wskaźników pozwalających na ilościową ocenę jakości. Wskaźniki takie, zwane też kryteriami oceny są niezbędne po to, aby w ściśle i powtarzalny sposób porównywać ze sobą różne warianty procesu /systemu/ i na tej podstawie wybierać rozwiązania najlepsze. Analiza dostępnej literatury przedmiotu prowadzi do wniosku, że w zakresie oceny efektywności wojsk obrony przeciwlotniczej podczas działań bojowych występuje znaczna różnorodność, a co za tym idzie niejednoznaczność i to zarówno w zakresie definiowania pojęć, jak i sposobów wyznaczania miar-wskaźników ilościowych. Analiza różnych prezentowanych w tej dziedzinie poglądów oraz definiowanie pojęć stosowanych w dalszej części rozprawy, to treść niniejszego rozdziału.

W rozprawie stosuje się zasadę podejścia systemowego tzn. globalnego ujmowania zagadnień i problemów, oraz kompleksowego widzenia zjawisk i procesów. Implikuje to konieczność szerokiego uwzględniania otoczenia systemowego tzn. warunków w jakich są realizowane poszczególne działania oraz wpływu innych zjawisk i procesów na przebieg tych działań.

Podsystem dowodzenia jest jednym z podsystemów w systemie obrony przeciwlotniczej, a kierowanie jest jednym z wielu równolegle realizowanych procesów. Określając efektywność podsystemu, lub procesu cząstkowego określać należy nie jego potencjalne bezwzględne możliwości /tzw. parametry zewnętrzne/, lecz jego możliwości w ustalonym otoczeniu, czyli w określonym systemie obrony przeciwlotniczej przy zadanym wariancie działania nieprzyjaciela powietrznego i w wybranych warunkach bojowych /sytuacja operacyjna, teren, pogoda itp./.

Nowa zatem jest zawsze nie o efektywności w ogóle, lecz o efektyw-

ności w konkretnym systemie obrony przeciwlotniczej w wybranych warunkach działania. Stosowana jest przy tym podstawowa systemowa zasada oceny podsystemu z punktu widzenia realizacji funkcji na rzecz systemu globalnego, który ma rolę nadrzędną.

Ilościowy wskaźnik efektywności podsystemu /procesu/ powinien określać jakość jego działania w danym systemie przy ustalonej jakości działania /określonych parametrach zewnętrznych/ pozostałych podsystemów uczestniczących w określonej formie działań bojowych. Możliwy jest więc przypadek, że dwa warianty podsystemu, z których jeden przewyższa drugi ze względu na pewne wyróżnione parametry zewnętrzne^{x/}, będą jednakowo efektywne w danym systemie obrony przeciwlotniczej, bowiem zastosowanie wariantu podsystemu teoretycznie lepszego nie spowoduje wzrostu efektywności całego systemu w porównaniu z efektywnością uzyskaną przy zastosowaniu wariantu teoretycznego gorazego.

W rozważeniach dotyczących efektywności procesu kierowania przyjęto następujące założenia ogólne:

1. Skład i strukturę podsystemu dowodzenia i innych podsystemów charakteryzują wielkości nazywane dalej parametrami wewnętrznymi. Są to np. struktura techniczna, organizacyjna, łączności, zasady przetwarzania informacji itp.;

2. Właściwości podsystemów w odniesieniu do spełniania przez nie funkcji ogólnosystemowych charakteryzują wielkości zwane dalej parametrami zewnętrznymi. W podsystemie dowodzenia są to np. czasy wykonywania zadań informacyjno-decyzyjnych, prawdopodobieństwa podjęcia poprawnej decyzji podczas przydziału celu do zwalczania itp. Ogólnie można stwierdzić, że wartości parametrów zewnętrznych podsystemu zależą nie tylko od jego parametrów wewnętrznych, lecz również od parametrów zewnętrznych innych podsystemów, warunków działania, a także sposobu działania nieprzyjaciela powietrznego. W podsystemie dowodzenia np. prawdopodobieństwo poprawnej decyzji podczas przydziału celu do zwalczania zależy m.in. od dokładności śledzenia celu oraz opóźnienia czasowego przy meldowaniu o celach w podsystemie rozpoznania, od intensywności działania nieprzyjaciela powietrznego w nalocie itp.;

x/ Np. zasięgi wykrywania RLS - w podsystemie rozpoznania; prawdopodobieństwa wykrycia celu przez środki ogniowe - w podsystemie rażenia; czasy przekazywania decyzji w poszczególnych relacjach - w podsystemie dowodzenia itp.

3. Efektywność podsystemu /procesu/ oceniana jest przez pomiar jego wpływu na efektywność całego systemu^{x/}. Ocenie podlega w szczególności wpływ wywierany przez określony sposób kierowania na zakres wykorzystania potencjalnych możliwości bojowych całego systemu OPL.

4. Efektywność podsystemu /procesu/ oceniana jest przy ustalonych:

- parametrach pozostałych podsystemów;
- wariancie działania nieprzyjaciela powietrznego;
- warunkach działań bojowych /sytuacji operacyjnej/;

5. Przy tworzeniu ilościowych wskaźników efektywności podsystemów /procesów/ dąży się do wykorzystywania wyrażeń następujących typów:

$$W^P = \frac{W^G}{W_{100\%}^G}$$

lub

$$W^P = W^G - W_{0\%}^G$$

gdzie:

- W^P - efektywność podsystemu;
- W^G - efektywność całego systemu /globalna/;
- $W_{100\%}^G$ - efektywność globalna w warunkach pełnego wykorzystania potencjalnych możliwości bojowych;
- $W_{0\%}^G$ - efektywność globalna w przypadku, gdy dany podsystem nie funkcjonuje.

Występują tutaj poważne trudności związane z oceną efektywności w przypadkach opisanych wyżej jako "100%" i "0". Trudności zaczynają się już wówczas, gdy trzeba ściśle zdefiniować i opisać przedstawione przypadki^{x/}. Trudności te można jednak ominąć z tego względu, że w działaniach optymalizacyjnych istotna jest nie tyle sama wartość wskaźnika efektywności, lecz relacja między wartościami tego wskaźnika w różnych badanych wariantach rozwiązań systemowych. Biorąc więc relacje /ilorazy lub różnice/ między wartościami wskaźnika efektywności podsystemu, redukuje się w odpowiednich wzorach wartości $W_{100\%}^G$ i $W_{0\%}^G$.

x/ Jako pomocnicze i przydatne głównie dla specjalistycznych celów traktuje się inne oceny związane z wybranymi pojedynczymi parametrami zewnętrznymi.

xx/ Trudno sobie wyobrazić działanie systemu obrony przeciwlotniczej bez któregoś z podsystemów np. podsystemu dowodzenia. Podobnie bez dokładnych badań nie można jednoznacznie określić, kiedy potencjalne możliwości bojowe są wykorzystane w pełni.

Odnosząc powyższe rozważania do zarysowanego wcześniej ogólnego schematu, ocenę efektywności podsystemu można przedstawić jako działanie dwuetapowe, przy czym:

I etap - to określenie regresji parametrów zewnętrznych Y względem parametrów wewnętrznych X ,

$$Y = E / Y/X / ;$$

II etap - to określenie regresji efektywności podsystemu E^P względem wartości jego parametrów zewnętrznych

$$E^P = E(E^P/Y)$$

W dalszych rozważaniach przyjmuje się, że pierwszy etap jest rozwiązany, czyli że parametry zewnętrzne podsystemu dowodzenia i innych podsystemów są znane. Uwagę ogranicza się ponadto głównie do tych parametrów zewnętrznych, które charakteryzują związki z innymi podsystemami. Traktując te parametry jako wielkości wejściowe trzeba określić ich wpływ na efektywność podsystemu po to, aby na kolejnym etapie móc wyznaczyć te wartości parametrów zewnętrznych, które optymalizują działanie całego systemu.

Przedstawiony tutaj zamier badawczy polegający na dążeniu do oceny procesu kierowania przez pomiar jego wpływu na działanie systemu kierowanego implikuje konieczność oceny efektywności systemu globalnego. Wynika stąd konieczność analizowania zagadnień związanych z definiowaniem i wyznaczaniem wskaźników efektywności w odniesieniu do całego systemu obrony przeciwlotniczej, bez ograniczenia się do procesu kierowania.

I.1. EFEKTYWNOŚĆ, EFEKTYWNOŚĆ BOJOWA I SKUTECZNOŚĆ-DEFINIOWANIE

Podstawową własnością systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych, ocenianą podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego jest efektywność, głównie tzw. efektywność bojowa. Przegląd literatury przedmiotu prowadzi do wniosku, że samo pojęcie "efektywność" jest określane w różny sposób i interpretowane niejednoznacznie. Podobnie przedstawia się problem określenia innych, ważnych własności systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych, takich jak "skuteczność" czy "efektywność bojowa". Aby uniknąć niejednoznaczności w dalszych rozważaniach należy ograniczyć dowolność interpretacji. Konieczne staje się więc zdefiniowanie podstawowych pojęć stosowanych przy określaniu, definiowaniu

własności i ocenianiu systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych.

Jak już zaznaczono, za najistotniejszą własność systemu obrony przeciwlotniczej uznawana jest zwykle efektywność. Pojęcie to, jedno z najważniejszych w teorii badań systemowych jest jednocześnie bardzo różnorodnie interpretowane, a znaczenia jakie mu się nadaje są liczne i wielorakie. W zależności od specjalizacji, kierunku zainteresowań oraz znajomości problemu przez autora, efektywność kojarzona jest zwykle z jednym z trzech podstawowych walorów praktycznych prakseologicznie pojmowanej sprawności działania^{x/}. Bardzo często się zdarza, że niektóre z tych walorów utożsamia się nawet z pojęciem efektywność.

Podstawowymi wartościami praktycznymi sprawności działania wyróżnionymi w prakseologii są:

- SKUTECZNOŚĆ^{xx/};
- EKONOMICZNOŚĆ^{xx/};
- KORZYSTNOŚĆ^{xx/}.

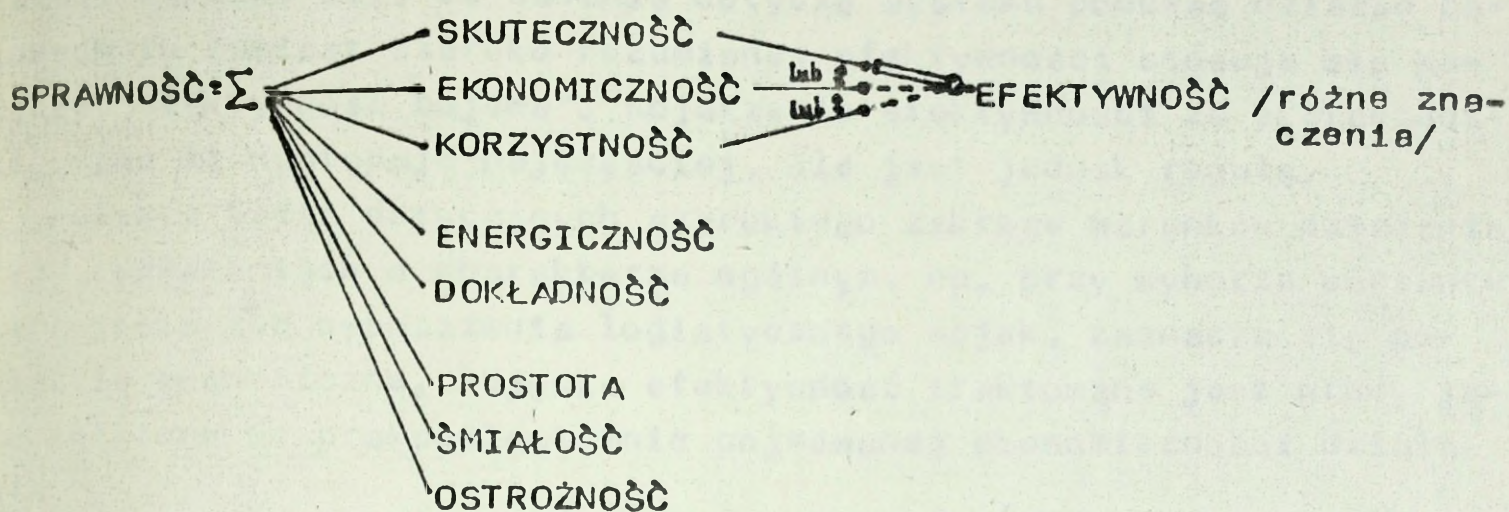
x/ Sprawność działania jest tutaj rozumiana zgodnie z definicją podaną w /17/:

"SPRAWNOŚĆ DZIAŁANIA" - pozytywnie oceniana cecha działania, charakteryzująca się jednym lub wieloma wartościami praktycznymi pojmowanymi prakseologicznie, odpowiednio do znaczenia jakie nadaje się terminowi "sprawność". W prakseologii termin ten występuje w trzech znaczeniach:

A. Uniwersalnym - jako ogólna nazwa każdego z walorów praktycznych działań, jak i ich wytworów. W odniesieniu do działań nazwa obejmuje przede wszystkim: skuteczność, ekonomiczność, korzyść a ponadto: energiczność, dokładność, prostotę, śmiałość, ostrożność, czystość. W tym znaczeniu sprawność działania stwierdzić można w każdym przypadku, w którym działanie charakteryzuje się choć jedną z wymienionych sprawności.

B. Syntetycznym - jako nazwa ogółu walorów praktycznych danego działania. Tak rozumianą sprawność stwierdzić można w działaniach, które zawierają wszystkie lub wiele walorów praktycznych, wśród nich skuteczność, gdyż w razie nieskuteczności /przeciwnie skuteczności/ sens walorów pozostałych zostaje przekreślony i sprawności działania w sensie syntetycznym stwierdzić nie można ...".

xx/ Definicje tych pojęć stosowane w prakseologii umieszczono w załączniku 2 /pkt 1/.



W praktyce badań wojskowych najwyższą cenioną wartością sprawności jest skuteczność. Dlatego też jest ona najczęściej stosowana jako podstawowa własność określająca jakość funkcjonowania badanego systemu. W literaturze poświęconej ocenie systemów wojskowych pojęcia efektywność i skuteczność zwykle są do siebie bardzo zbliżone, a często wręcz tożsame^{x/}. Należy zauważyć, że utożsamianie efektyw-
x/ Przykładów o tym świadczących jest wiele. Oto niektóre z nich:

- "... efektywność bojowa systemu OPL - to stopień jego zdolności do prowadzenia skutecznej walki ze ŚNP przeciwnika" /wg. /27/;
- "... pod pojęciem efektywności bojowej środków rozumie się najczęściej stopień realizacji zadań, do których są one przeznaczone. Zadaniem środków OPL jest niedopuszczenie samolotów przeciwnika do osłanianych obiektów i ich niezczenia..." /wg. /85//;
- "efektywność - własność systemu działania określająca zdolność /całokształt możliwości i warunków systemu/ do osiągnięcia zamierzonych celów" /wg. /72//;
- "... przez pojęcie efektywności środków bojowych w ogóle, rozumie się zwykle stopień wykonania zadań bojowych, do których środki te są przeznaczone" /wg. /56//;
- "efektywność systemu można określić jako zdolność realizowania zadanych mu funkcji przy pracy w określonych warunkach jego stosowania /.../. Efektywność systemu można określić jako miarę działań. Jest ona funkcją trzech podstawowych komponentów: gotowości; niezawodności i możliwości" /wg. /70//;
- "Przez efektywność rozumie się stopień realizacji funkcji systemu. Innymi słowy, jest to prawdopodobieństwo, że system o określonej niezawodności wykona wszystkie swoje zadania w danych warunkach eksploatacji w przewidywanym przedziale czasu" /wg. 86/;
- "Przez efektywność /rozpoznania lub wykrywania i śledzenia celów - przyp. aut./ rozumie się wyrażoną liczbowo skuteczność rozwiązania zadania /poszukiwania i wykrywania celów środkami i systemami śledzenia - przyp. aut./ ..." /wg 24/.

ności ze skutecznością ma miejsce najczęściej wtedy, gdy badania dotyczą ograniczonego zakresu warunków działania. W szczególności, jeżeli zakłada się, że badania dotyczą systemu podczas działań bojowych to zamiast szeroko rozumianej efektywności stosuje się pojęcie "efektywność bojowa". Kojarzenie efektywności ze skutecznością, mimo iż występuje najczęściej, nie jest jednak regułą.

Podczas badań dotyczących szerokiego zakresu warunków działania, przy rozważaniach o charakterze ogólnym, np. przy wyborze wariantu uzbrojenia lub wyposażenia logistycznego wojsk, zaznacza się podejście ekonomiczne. Pojęcie efektywność traktowane jest wtedy jako zbliżone do prakseologicznie pojmowanej ekonomiczności działania^{x/}.

Trzeci z podstawowych walorów praktycznych sprawności działania, czyli korzystność, jest do oceny efektywności wykorzystywany najrzadziej. Trudno znaleźć przykłady bezpośredniego definiowania efektywności jako pojęcia zbliżonego do korzystności^{xx/}, w praktyce badań wojskowych można jednak często spotkać się z podejściem pośrednio świadczącym o utożsamianiu tych pojęć. Wyraża się to zwykle przez dobór jako wskaźnika efektywności wielkości odwzorowujących "korzyść" z działania systemu^{xxx/}.

Podane dotychczas przykłady a także szereg innych nie wymienionych tutaj /m.in. ze względu na niecelowość nadmiernego rozbudowywania problematyki definiowania w rozprawie poświęconej przecież działaniom optymalizującym/, świadczą o znacznej niejednorodności poglądów w zakresie definiowania pojęcia "efektywność". Zaryzykować można tezę, że ilość definicji jest zbliżona do ilości publikacji poświęconych tej tematyce.

x/ Dla wykazania słuszności tej tezy można znaleźć wiele przykładów. Niektóre z nich umieszczono w załączniku 2 /pkt 2/.

xx/ Autor znalazł tylko jeden następujący przykład:

- "... efektywność to całokształt korzyści osiągniętych przez system w badanym okresie podczas osiągnięcia zamierzonych celów. /.../ ten rodzaj efektywności nazywać będziemy efektywnością zrealizowaną i utożsamiać z wielkością efektów zrealizowanych przez system" wg. /81/.

xxx/ O podejściu tego typu świadczy wybór na kryterium-wskaźnik efektywności np. ilości /wartości potencjału bojowego itd./ zniszczonych /uszkodzonych lub ostrzelanych/ środków napadu powietrznego bez uwzględnienia chociażby relacji między tą ilością /wartością ... itd./ a ilością /wartością ... itd./ ŚNP, które należy zniszczyć /uszkodzić ... itd./ aby zrealizować zadania bojowe. Świadczy to o mniej lub bardziej świadomym ekaponowaniu korzystności przy niedostatecznym uwzględnianiu skuteczności i ekonomiczności.

W dalszej części rozprawy pojęcie "efektywność" używane jest w znaczeniu ogólnym, zbliżonym do syntetycznego znaczenia prakseologicznie pojmowanej sprawności działania^{x/}. Podkreślić należy, że przy syntetycznym rozumieniu pojęcia "sprawność" i bliskim kojarzeniu z nim pojęcia "efektywność" najbardziej eksponowanym walorem staje się skuteczność i to tak dalece, że nie można określić mianem sprawnego /efektywnego/ takiego działania /procesu/, które nie jest skuteczne. Należy przy tym zauważyć, że w ten sposób uwypuklona jest bardzo istotna cecha systemów i działań wojskowych szczególnie eksponowana podczas działań bojowych, polegająca na usilnym dążeniu do zrealizowania podstawowego celu działania /np. zadania bojowego, bitwy, operacji itp./, często nawet za cenę bardzo dużych nakładów. Zgodnie z przedstawionymi wyżej założeniami podstawą oceny efektywności powinna być miara będąca odwzorowaniem stopnia realizacji każdego z istotnych członów-walorów praktycznych syntetycznie pojmowanej sprawności, tzn. skuteczności, ekonomiczności, korzystności, energiczności, prostoty, śmiałości, dokładności itd., ze szczególnym jednakże uwzględnieniem trzech wymienionych w pierwszej kolejności.

Przed dalszymi rozważaniami należy zaznaczyć, że w rozprawie, w celu skoncentrowania uwagi na innych problemach, nie rozpatruje się aspektów ekonomicznych. Nie oznacza to, że do sprawy nakładów finansowych nie przywiązuje się należytej uwagi. Uproszczenie polega jedynie na tym, że sposób określania tych nakładów, oraz konkretne wartości kosztów ponoszonych przy organizowaniu i prowadzeniu działań bojowych przez system OPL traktuje się jako wielkości znane, bądź możliwe do określenia w specjalnych badaniach o odmiennym charakterze.

Biorąc pod uwagę powyższe założenie można zauważyć, że przy ocenie efektywności i jej podstawowych członów^{xx/} najistotniejsze staje się wyznaczenie miary-wskaźnika skuteczności. Wynika to m.in. z dwóch następujących przesłanek:

x/ Nie jest zamiarem autora tworzenie własnej, ścisłej definicji pojęcia "efektywność". W załączniku 2 /pkt 3/ podano kilka przykładów definiowania efektywności w bardzo szerokim znaczeniu - określeń, które najlepiej oddają osobiste przekonania autora.

xx/ tj. skuteczności, ekonomiczności, korzystności

a/ przy ocenie ekonomiczności wyznacza się relację między zrealizowanymi lub przewidywanymi efektami działania, a nakładami niezbędnymi do uzyskania tych efektów^{x/}.

$$\text{EKONOMICZNOŚĆ} = \frac{\text{EFEKTY DZIAŁANIA}}{\text{NAKŁADY NIEZBĘDNE DO DZIAŁANIA}}$$

Podczas działań bojowych podstawą do oceny i zarazem najważniejszym efektem działania jest wykonanie lub niewykonanie założonego zadania bojowego. Ponieważ zakłada się, że wielkość nakładów jest znana /lub wiadomo jak ją wyznaczyć/, a ocena realizowalności podstawowego celu działania jest w istocie oceną skuteczności - stąd wniosek, że także przy ocenie ekonomiczności najistotniejszym problemem jest wyznaczenie skuteczności;

b/ przy ocenie korzyści wyznacza się różnicę między cennością wyników użytecznych a cennością kosztów^{x/}

$$\text{KORZYSTNOŚĆ} = \text{CENNOŚĆ WYNIKÓW} - \text{CENNOŚĆ KOSZTÓW}$$

Podczas działań bojowych podstawą do oceny, a zarazem najważniejszy element cenności uzyskanych wyników stanowi ocena stopnia realizacji podstawowego celu działania, czyli wykonania założonego zadania bojowego. Natomiast na cenność nakładów składają się przede wszystkim: koszty w sensie finansowym, a także wysiłek oraz straty i ubytki potencjału bojowego. Ponieważ cenność kosztów zgodnie z przyjętym założeniem jest znana, stąd wniosek, że także przy ocenie korzyści najistotniejszym problemem jest ocena stopnia realizacji założonego celu działania, czyli ocena skuteczności.

Skuteczność staje się w takim ujęciu najistotniejszą własnością, główną podstawą do oceny jakości funkcjonowania systemu obrony przeciwlotniczej. Należy więc ją ściśle zdefiniować^{xx/}. Przegląd dostępnej literatury przedmiotu^{xxx/} prowadzi do wniosku, że pojęcie "skuteczność" definiuje się i rozumie dość jednoznacznie. Różnice zauważalne między poszczególnymi określeniami dotyczą przede wszystkim stopnia uogólnienia przy definiowaniu celu działania, oraz zakresu szczegółowości przy zaznaczaniu warunków działania - w krańcowych

x/ Odpowiednie definicje pojęć ekonomiczność i korzyść podano w załączniku 2 /pkt 1/.

xx/ Definicja skuteczności z prakseologicznego punktu widzenia została przedstawiona w załączniku 2 /pkt 1/.

xxx/ Wybór definicji przedstawiono w załączniku 2 pkt 4.

przypadkach skuteczność traktuje się jako abstrakcyjną cechę systemu nie związaną z żadnymi konkretnymi warunkami działania.

W rozprawie uwaga skupiona jest na funkcjonowaniu systemu obrony przeciwlotniczej w ściśle określonych warunkach. Z tego względu, a także zauważając, że funkcjonowanie każdego systemu zależy nie tylko od jego własności wewnętrznych ale i od otoczenia systemu, warunków w których działa, oraz zadań jakie wykonuje - trzeba uznać za niecelowe rozważania o skuteczności jako właściwości ogólnej. Skuteczność należy wiązać zawsze z określonymi zadaniami i warunkami funkcjonowania. Biorąc pod uwagę powyższe przesłanki, na tym etapie rozważań przyjmuje się następującą roboczą definicję pojęcia:

SKUTECZNOŚĆ systemu to cecha określająca jego zdolność do realizowania w określonych warunkach postawionych przed nim konkretnych zadań. Miarą skuteczności jest stopień zbliżenia do zamierzonego celu. Definicja ta jest mało precyzyjna, gdyż nie określono w niej ściśle warunków, w których bada się funkcjonowanie systemu, oraz celu działania w tych warunkach.

Warunki funkcjonowania systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych są stosunkowo łatwe do określenia, gdyż jak to wynika bezpośrednio z tematu rozprawy - analizowane jest działanie systemu obrony przeciwlotniczej podczas bezpośredniego odpierania zmasowanych i ześrodkowanych nalotów nieprzyjaciela powietrznego.

Natomiast opisanie celu działania systemu obrony przeciwlotniczej w sposób ścisły i jednoznaczny nie jest zadaniem prostym. W miarę łatwo można jedynie ogólnie stwierdzić, że system obrony przeciwlotniczej jest przeznaczony do zapewnienia wojskom operacyjnym osłony przed oddziaływaniem nieprzyjaciela powietrznego. Takie sformułowanie jest jednak niejednoznaczne, a przegląd literatury prowadzi do wniosku, że ze względu na liczne rozbieżności^{x/} trudno

x/ Oto przykłady różnych sposobów definiowania celu działania systemu OPL.

- Podstawowym zadaniem wojsk OPL jest m.in. koordynacja wysiłku sił i środków OPL w celu skutecznego przeciwstawienia się nieprzyjacielowi powietrznemu działającemu w różnych warunkach i sytuacjach, w tym również podczas wykonywania przez niego nalotów na osłaniane wojska i obiekty" wg. /56/;

- "... podstawowym celem działania systemu OPL jest stworzenie warunków, w których ogólnowojskowe oddziały i pododdziały, lotnictwo i marynarka wojenna wypełniają swoje zadania bez znaczącego przeciwdziałania lotnictwa przeciwnika tj. kiedy lotnictwo przeciwnika nie może osłanianym wojskom zadać strat, które osłabiłyby siłę bojową w takim stopniu, że uniemożliwiłoby to terminowe wykonanie w zadanym czasie postawionych przed nimi zadań" wg. /81/;

c.d. odnośnika na s.23

jest wykorzystać bezpośrednio którąś z proponowanych tam definicji. Konieczne jest więc dokonanie pewnych abstrakcji i uogólnień po to, aby z różnych określeń szczegółowych wyciągnąć cechy wspólne, a różnice usunąć przez wprowadzenie określeń o charakterze szerszym. Analiza i synteza przedstawionych wyżej określeń, przy uwzględnieniu przyjętych już założeń, pozwala na przyjęcie dla potrzeb rozprawy następującej definicji pojęcia: SKUTECZNOŚĆ SYSTEMU OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ WOJSK OPERACYJNYCH podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego to własność określająca zdolność systemu do takiego przeciwstawiania się nieprzyjacielowi powietrznemu, aby związki taktyczne, oddziały i pododdziały wojsk operacyjnych mogły wykonywać swoje zadania bez znaczącego przeciwdziałania ze strony środków napadu powietrznego nieprzyjaciela tj. aby ich potencjalne możliwości bojowe wskutek oddziaływania z powietrza nie obniżyły się poniżej minimalnego poziomu umożliwiającego terminowe wykonanie postawionych przed nim zadań.

Z pojęciem "skuteczność" związane jest pojęcie "efektywność bojowa". W literaturze poświęconej badaniom wojskowych systemów działania pojęcie "efektywność bojowa" występuje bardzo często. Zestawienie pojęcia "efektywność" z przymiotnikiem "bojowa" sugeruje, że chodzi tutaj o efektywność podczas wykonywania działań bojowych. Bliższe zapoznanie z proponowanymi definicjami oraz podawanymi dla zilustrowania określeń przykładami pozwala na stwierdzenie, że pojęcie "efektywność bojowa" używane jest zwykle w tym samym znaczeniu co "skuteczność podczas działań bojowych". W dalszej części rozprawy pojęcie "EFEKTYWNOŚĆ BOJOWA" w odniesieniu do systemu obrony przeciwlotniczej traktowane będzie jako skuteczność systemu obrony przeciwlotniczej podczas wykonywania zadań bojowych. W związku z tym pojęcia "skuteczność podczas działań bojowych" i "efektywność bojowa" mogą być stosowane wymiennie.

c.d. odnośnika ze s. 22

- "... celem obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych jest zadanie nieprzyjacielowi powietrznemu możliwie maksymalnych strat i dezorganizowanie jego działań w takim stopniu, że część środków napadu powietrznego, która zdołała przeniknąć do głównego w danej sytuacji operacyjnej zgrupowania naszych wojsk i ważnych obiektów nie będzie w stanie spowodować zniszczeń wpływających na utratę ich gotowości bojowej, siły ogniowej i uderzeniowej, manewrowości i sprawności dowodzenia" wg. /54/.

1.2. ILOŚCIOWE WSKAŹNIKI OCENY EFEKTYWNOŚCI BOJOWEJ W SYSTEMIE OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ WOJSK OPERACYJNYCH

W poprzednim podrozdziale zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z oceną efektywności systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych podczas odpięrania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. Same definicje niestety nie umożliwiają pomiaru definiowanych wielkości. Do pomiaru efektywności bojowej, a co za tym idzie porównywania różnych wariantów rozwiązań systemowych, niezbędne jest określenie ilościowego wskaźnika oceny efektywności bojowej, zwanego także kryterium oceny efektywności bojowej.

Wartości wskaźnika oceny efektywności bojowej systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych stanowią podstawę do globalnej oceny jakości funkcjonowania systemu, a przez pomiar wpływu różnych wariantów kierowania na efektywność systemu globalnego, umożliwiają ocenę jakości procesu kierowania w całości a także wybranych czynników, charakteryzujących ten proces. Wynika stąd duża waga doboru odpowiednich kryteriów-wskaźników ilościowych.

Aktualnie nieznane są sformalizowane metody doboru ilościowych wskaźników efektywności bojowej. Zadanie doboru odpowiedniego kryterium rozwiązywane jest zwykle przez ekspertów. W literaturze^{x/} można znaleźć jedynie ogólne warunki, które powinien spełniać dobrze dobrany ilościowy wskaźnik oceny efektywności bojowej. Wśród tych wymagań najczęściej spotyka się następujące:

- a/ warunek reprezentatywności wskaźnika;
- b/ warunek wrażliwości wskaźnika na zmianę istotnych parametrów systemu;
- c/ warunek prostoty wyznaczenia i jasności interpretacji wskaźnika;
- d/ warunek wieloaspektowości wskaźnika;
- e/ warunek zgodności wskaźnika ze wskaźnikami systemów nadrzędnych;
- f/ warunek prawidłowego ujęcia we wskaźniku losowości badanych procesów.

Warunki te są szeroko znane i w tym miejscu nie będą szerzej omawiane^{xx/}.

x/ np. pozycje /22/, /70/, /10/.

xx/ Pełniejsze rozwinięcie powyższych skrótowych sformułowań, oraz ich interpretację w odniesieniu do wskaźników efektywności bojowej systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych przedstawiono w załączniku 3.

W praktyce badań systemów wojskowych do ilościowej oceny efektywności bojowej stosuje się szereg różnorodnych wielkości. Można wyróżnić wśród nich szeregi typologiczne i po odpowiednim pogrupowaniu wskazać pewne typy kryteriów, ilustrując je przykładami uznany-
mi za najbardziej reprezentatywne. Oczywiście sposobów takiego podziału może być wiele. Poniżej dla ilustracji przedstawione są tylko dwa wybrane. W. Drużynin i D. Kontorow w pracy /15/ za najbardziej typowe uznali następujące wskaźniki skuteczności /efektywności bojowej/ systemów wojskowych:

- wartość oczekiwana strat zadanych przeciwnikowi;
- wartość oczekiwana strat, których uniknięto w wyniku działania badanego systemu;
- wartość oczekiwana ilości porażonych celów;
- prawdopodobieństwo zapewnienia skutecznej osłony obiektu przed oddziaływaniem przeciwnika;
- głębokość rubieży osiągniętej podczas działań bojowych.

W innym przypadku X.W. Czujew, P. Mielnikow, S.I. Pietuchow, G.F. Stiepanow i J.B. Szor w pracy /12/ przedstawiają następujący zestaw typowych kryteriów efektywności bojowej:

- prawdopodobieństwo wykonania zadania bojowego w określonej sytuacji bojowej;
- prawdopodobieństwo rażenia określonej ilości celów;
- wartość oczekiwana ilości rażonych celów;
- wartość oczekiwana strat przeciwnika;
- wartość oczekiwana strat własnych.

Termin "straty" stosowany w tego typu określeniach pojmowany i przedstawiany bywa rozmaicie. Najbardziej ogólne rozumienie tego pojęcia przedstawiono w pracy /15/, gdzie straty traktuje się jako funkcjonal typu:

$$S = S(\{s_i\}) \quad : \quad i = 1, 2, \dots$$

przy czym $\{s_i\}$ jest zbiorem $\{s_1, s_2, \dots, s_8, \dots\}$

gdzie:

- s_1 - straty ludzkie;
- s_2 - straty techniki bojowej;
- s_3 - straty amunicji i innych środków bojowych;
- s_4 - obezwładnienie środków komunikacyjnych;
- s_5 - porażenie środków i organów kierowania;
- s_6 - straty ekonomiczne;

s_7 - obniżenie stanu moralno-psychicznego;

s_8 - obniżenie sprawności fizycznej żołnierzy itd.

W odniesieniu do systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych, przedstawione wyżej ogólne postaci kryteriów efektywności bojowej ulegają przekształceniu, mającemu na celu zaadaptowanie do specyfiki działania systemu i przyjmują zwykle jedną z następujących postaci:

a/ wartość oczekiwana ilości zniszczonych środków napadu powietrznego;

b/ wartość oczekiwana ilości ostrzelanych środków napadu powietrznego /czasem z dodatkowym warunkiem aby prawdopodobieństwo rażenia było nie mniejsze niż pewne minimalne - P_{gran} /;

c/ wartość oczekiwana ilości środków napadu powietrznego, które pokonują system OPL;

d/ wartość oczekiwana strat poniesionych przez osłaniane wojska i obiekty;

e/ wartość oczekiwana strat, których uniknęły osłaniane wojska i obiekty w wyniku działania systemu obrony przeciwlotniczej;

f/ prawdopodobieństwo rażenia pojedynczego celu;

g/ wartość oczekiwana ilości celów, które mogą być jednocześnie zwalczane przez system obrony przeciwlotniczej /czasem z dodatkowym warunkiem aby prawdopodobieństwo rażenia było nie mniejsze niż pewne minimalne - P_{gran} /;

h/ prawdopodobieństwo zniszczenia co najmniej zadanej liczby środków napadu powietrznego;

i/ wartość oczekiwana strat zadanych nieprzyjacielowi powietrznemu do wskazanych rubieży.

Wskaźniki powyższe aczkolwiek użyteczne w wielu przypadkach szczególnych i przydatne do oceny różnych aspektów działania systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych, nie powinny być stosowane jako ogólny wskaźnik efektywności bojowej systemu. Wskaźnik taki powinien jak wiadomo uwzględniać przede wszystkim podstawowy cel działania, jakim jest w przypadku systemu obrony przeciwlotniczej takie przeciwstawienie się nieprzyjacielowi powietrznemu, aby związki taktyczne, oddziały i pododdziały wojsk operacyjnych mogły wykonywać swoje zadanie bez znaczącego przeciwdziałania ze strony środków napadu powietrznego nieprzyjaciela, tj. aby ich potencjalna zdolność bojowa wskutek oddziaływania z powietrza nie

obniżyła się poniżej minimalnego poziomu umożliwiającego terminowe wykonanie postawionych przed nimi zadań.

Żadna z przedstawionych wyżej wielkości nie spełnia w pełni tego podstawowego warunku. Oto uzasadnienie tej tezy:

ad a/ Wartość oczekiwana ilości zniszczonych środków napadu powietrznego nie zapewnia oceny stopnia realizacji głównego celu działania systemu obrony przeciwlotniczej, gdyż jak uczy historia II wojny światowej i lokalnych konfliktów zbrojnych^{x/} - określone zgrupowania wojsk OPL wykonywały swoje zadania osłony wojsk i obiektów, mimo że nie mogły "pochwalić się" znaczną liczbą zniszczonych ŚNP, nierzadko zaś mimo zestrzelenia większej liczby samolotów, system OPL nie zdołał zapobiec zniszczeniu lub poważnemu osłabieniu osłanianych wojsk i obiektów.

ad b/ Wartość oczekiwana ilości ostrzelanych środków napadu powietrznego z powodów podobnych jak wyżej przedstawione, może być jedynie pomocniczym wskaźnikiem przy ocenie realizacji podstawowego celu działania. Ponadto niszczenie środków napadu powietrznego nie jest jedyną formą oddziaływania systemu OPL na ŚNP. Zmniejszenie zagrożenia z powietrza osiąga się także przez zakłócanie aparatury łączności, nawigacyjnej i celowniczej, oddziaływanie faktu ostrzału na morale załóg itp. Aby móc odpowiedzieć na pytanie czy osiągnięty został cel działania systemu obrony przeciwlotniczej trzeba znać ponadto relację między ilością realnie ostrzelanych środków napadu powietrznego a minimalną wymaganą ilością ostrzelanych środków napadu powietrznego, która gwarantowałaby wykonanie zadania bojowego przez system OPL. Wielkość ta, czyli minimalna wymagana ilość ostrzelanych środków napadu powietrznego, jest jak należy sądzić funkcją wielu czynników, w tym m.in. liczności nalotu, sytuacji bojowej, warunków działania, ilości i rodzaju osłanianych wojsk itp. W związku z tym trudno jest ją zawczasu jednoznacznie określić. Uwagę warto zwrócić jeszcze na fakt, że nie wszystkie środki napadu powietrznego stanowią jednakowe zagrożenie dla osłanianych wojsk - zależy to m.in. od tego jakie są: prawdopodobne obiekty ataku, typy środków napadu powietrznego, rodzaj ich uzbrojenia itp.;

ad c/ Ilość środków napadu powietrznego, które pokonują system obrony przeciwlotniczej aczkolwiek jako wskaźnik efektywności bojo-

x/ Przykłady podano w załączniku nr 3.

wej pozbawiona jest niektórych wad poprzednich kryteriów /zakłada się tutaj, że mówiąc o środkach napadu powietrznego, które pokonują system obrony przeciwlotniczej bierze się pod uwagę jedynie te, których zdolność bojowa nie ulega zbyt znacznemu obniżeniu uniemożliwiającemu wykonywanie zadań bojowych/, także nie może być bezpośrednio wykorzystywana do odpowiedzi na pytanie czy i w jakim stopniu system obrony przeciwlotniczej zrealizował podstawowe zadanie bojowe. Dla oceny efektywności bojowej systemu trzeba bowiem znać także możliwości oddziaływania nieprzyjaciela powietrznego na osłaniane wojska i obiekty /a te jak wiadomo zależą nie tylko od ilości ŚNP/ oraz relacje między tymi możliwościami a zagrożeniem jakie one stwarzają dla realizacji przez osłaniane wojska ich zadań bojowych /np. pojedynczy samolot stanowi inne zagrożenie dla związku taktycznego niż dla oddziału, większe zagrożenie stwarza dla wojsk w rejonie wyjściowym niż na rubieży obrony, istotne znaczenie ma przy tym typ ŚNP, ilość i jakość przenoszonego uzbrojenia itp./.

ad d/ Operując wartością strat poniesionych przez osłaniane wojska i obiekty, bez znajomości wielkości maksymalnych strat uznanych za dopuszczalne dla tych wojsk w danej sytuacji, nie można odpowiedzieć na pytanie czy osłona przeciwlotnicza była skuteczna. Ponadto biorąc pod uwagę tylko straty materialne nie uwzględnia się takich form oddziaływania ŚNP, jakimi są rozpoznanie oraz dezorganizacja lub opóźnienie działań zgrupowania wojsk operacyjnych. O tym jak ważne mogą być te formy oddziaływania świadczy chociażby przykład 17 dywizji grenadierów pancernych SS, która latem 1944 roku potrzebowała aż 5 dni na przebycie 320 km na płw. Contentin;

ad e/ Wartość oczekiwana strat, których uniknęły osłaniane wojska i obiekty z powodów podobnych jak podane w pkt. d/ także nie jest dobrym wskaźnikiem efektywności bojowej. Kryterium to umożliwia wprowadzić ocenę "zysku" wynikającego z działania systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych, lecz nie pozwala na bezpośrednią odpowiedź na pytanie, czy system wykonał /może wykonać/ postawione przed nim zadanie bojowe;

ad f/ Prawdopodobieństwo rażenia pojedynczego celu jest wskaźnikiem, który wiele mówi o mocy oddziaływania na ŚNP podsystemu ognia, lecz z przyczyn podobnych jak podane wyżej w przypadku a/, wielkość ta nie powinna być stosowana jako podstawowy wskaźnik globalnej efektywności bojowej systemu obrony przeciwlotniczej;

ad g/ Wartość oczekiwana ilości celów, które mogą być jednocześnie zwalczane przez system obrony przeciwlotniczej, to wskaźnik obrazujący "wydajność ogniową" systemu. Bez określenia dodatkowych wielkości, z powodów podobnych jak w przypadku b/ nie może on być wykorzystywany jako podstawowe kryterium efektywności bojowej systemu obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych.

ad h/ Prawdopodobieństwo zniszczenia przynajmniej wskazanej liczby celów jest zmodyfikowaną wersją wskaźnika z pkt. f/. W przypadku gdy zadana minimalna ilość zniszczonych celów związana jest z oczekiwanym efektem - rezygnacją z dalszych działań bojowych przez przeciwnika - stanowi cenny wskaźnik. Ale tego typu definicja, bez ściślego sposobu określania minimalnej zadanej do zniszczenia liczby środków napadu powietrznego, jest mało przydatna w praktycznym wykorzystaniu;

ad i/ Wartość oczekiwana strat zadanych nieprzyjacielowi do wskazanych rubieży jest zmodyfikowaną wersją wskaźnika z pkt. a/. Warunek zwalczania celów przed wskazanymi rubieżami powoduje ściślejsze odwzorowanie we wskaźniku celu działania systemu obrony przeciwlotniczej, ale z powodów omówionych już przy punkcie a/, wskaźnik tego typu również jest mało przydatny do globalnej oceny efektywności bojowej.

Przeprowadzona tu analiza prowadzi do wniosku, że żadna z przedstawionych wielkości nie może być traktowana jako globalny wskaźnik efektywności bojowej systemu OPL.

Wychodząc z podstawowego warunku, który powinno spełniać dobrze dobrane kryterium efektywności bojowej - warunku reprezentatywności, należy przyjąć jako wskaźnik efektywności bojowej wielkość bezpośrednio odwzorowującą stopień realizacji celu działania systemu obrony przeciwlotniczej. Celem działania jest wykonanie zadania bojowego, czyli osłona wojsk operacyjnych przed oddziaływaniem nieprzyjaciela powietrznego. Ponieważ realizacja zadania bojowego jest zdarzeniem w zasadzie dwustanowym^{x/} nie można wyznaczyć ciągłej miary stopnia realizacji celu działania systemu. Ciągłą /w przedziale/ miarą odwzorowującą realizowalność celu działania, a zarazem właściwym ilościowym wskaźnikiem efektywności bojowej systemu jest prawdopodobieństwo wykonania przez system obrony przeciwlotniczej postawionych przed nim zadań bojowych - P^{WZB} . Miara taka spełnia

x/ Są dwa podstawowe stopnie realizacji zadania bojowego:
- wykonanie zadania bojowego;
- niewykonanie zadania bojowego.

warunek reprezentatywności, a także pozostałe warunki wymagane w stosunku do dobrze dobranych kryteriów.

Po to aby podana wyżej definicja P^{WZB} mogła być wykorzystywana do celów praktycznych należy ją uszczegółowić. Przede wszystkim należy jasno zdefiniować fakt wykonania, lub niewykonania zadania bojowego. W miarę łatwo o ocenę realizowalności zadania bojowego ex post, tzn. po działaniach bojowych, szczególnie wówczas gdy zakończyły się one powodzeniem. Natomiast w innych przypadkach występują trudności. Zaczynają się one już wtedy, jeśli trzeba ex post ocenić wykonanie zadania bojowego przez system obrony przeciwlotniczej w przypadku, gdy osłaniane wojska operacyjne nie wykonają postawionych przed nimi zadań. Trudno wówczas jednoznacznie określić jaki wpływ na niedostateczną efektywność bojową osłanianego zgrupowania wojsk miała słabość systemu obrony przeciwlotniczej /w stosunku do mocy oddziaływania nieprzyjaciela powietrznego/. W praktyce badań naukowych sytuacja jest tym trudniejsza, że wszelkie rozważania toczą się ex ante tzn. dotyczą przewidywanego rozwoju sytuacji i działań bojowych, a te jak wiadomo mogą przebiegać w niezliczonych wariantach. Tak więc, aby móc wyznaczać prawdopodobieństwo wykonania zadania bojowego P^{WZB} należy ściśle zdefiniować i opisać samo badane zdarzenie, czyli znaleźć odpowiedź na pytanie: w jaki sposób stwierdzić, czy system obrony przeciwlotniczej realizuje cel jaki został przed nim postawiony w danej sytuacji bojowej?

Problem można zbadać przechodząc od sytuacji najprostszych, poprzez warianty bardziej złożone, do najbardziej skomplikowanych, odpowiadających rzeczywistemu przebiegowi działań bojowych. Na poziomie elementarnym, np. w sytuacji gdy pododdział obrony przeciwlotniczej osłania pojedynczy obiekt o ograniczonej liczbie stanów^{x/} zrealizowanie przez ten pododdział postawionego przed nim zadania bojowego stwierdza się wówczas, gdy obiekt pozostaje nienaruszony lub tylko nieznacznie uszkodzony^{xx/}. W pozostałych przypadkach stwierdza się, że pododdział nie zapewnił dostatecznej osłony obiektu, czyli nie wykonał postawionego przed nim zadania bojowego. Ten

x/ W wariancie najprostszym jest to obiekt, w którym można wyróżnić jedynie dwa stany: sprawny i niesprawny np. wyrzutnie rakiet operacyjno-taktycznych, węzeł łączności, most itp.

xx/ Tzn. uszkodzony co najwyżej w taki sposób, że możliwe jest azybkie odtworzenie jego możliwości bojowych, lub uszkodzenia nie powodują obniżenia możliwości bojowych obiektu w stopniu mającym wpływ na dalszy przebieg działań bojowych.

prosty przypadek ulega znacznej komplikacji, jeżeli zamiast pojedynczego obiektu istnieje duża liczba niejednorodnych obiektów o wielu stanach /w krańcowym przypadku funkcja stanu może być quasiciągła/. Takie zjawisko występuje przy ocenie efektywności osłony wojsk na szczeblu operacyjnym. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt różnych form oddziaływania nieprzyjaciela powietrznego. Środki napadu powietrznego nie tylko niszczą i odezwalniają poszczególne zgrupowania wojsk operacyjnych, lecz także je rozpoznają z powietrza, opóźniają lub wręcz uniemożliwiają przegrupowanie itp.

Problem oceny wykonania przez system obrony przeciwlotniczej zadania bojowego nierozdzielnie wiąże się z pytaniem: jaki jest stopień obniżenia potencjalnych możliwości bojowych osłanianego zgrupowania wojsk, a w szczególności: czy można go uznać za dopuszczalny, czy też należy stwierdzić, że zadanie osłony nie zostało zrealizowane? Obniżenie możliwości bojowych osłanianego zgrupowania wojsk poniżej poziomu uznanego za dopuszczalny, stwierdzać można w wielu przypadkach różnych kombinacji strat częściowych^{x/}. Straty poszczególnych obiektów wyróżnionych w osłanianym zgrupowaniu wojsk można przedstawić^{xx/} jako funkcjonal S, następującego typu:

$$S = S(\{e_i\}); \quad i = 1, 2, \dots$$

Globalne straty osłanianych wojsk można wtedy zapisać w postaci wektora:

x/ Określenie "straty częściowe" oznacza tutaj rozróżnienie różnych rodzajów strat zarówno w przekroju organizacyjnym, a więc w poszczególnych pododdziałach, oddziałach i związkach taktycznych osłanianych wojsk, jak i funkcjonalnym czyli: straty ludzkie, straty techniki bojowej, porażenie środków i organów kierowania itd.

xx/ Ten sposób przedstawiania ogólnej postaci strat jak już to wcześniej zaznaczono występuje np. w pracy /15/. Dla przypomnienia warto zaznaczyć, że:

$\{e_i\}$ jest zbiorem $\{e_1, e_2, \dots, e_8, \dots\}$

- zaś e_1 - oznacza straty ludzkie;
 e_2 - oznacza straty techniki bojowej;
 e_3 - straty amunicji i innych środków bojowych;
 e_4 - odezwalnienie środków komunikacyjnych;
 e_5 - porażenie środków i organów kierowania;
 e_6 - straty ekonomiczne;
 e_7 - obniżenie stanu moralno-psychicznego;
 e_8 - obniżenie sprawności fizycznej żołnierzy itd.

$$\{s_o\} \quad o = 1, 2, \dots, 0$$

gdzie: s_o - oznacza wartość funkcjonału strat o -tego obiektu wyróżnionego w osłanianym zgrupowaniu wojsk;
 0 - oznacza ilość wyróżnionych obiektów.

Traktując współrzędne wektora S jako współrzędne w przestrzeni kartezjańskiej R^0 , można w tej przestrzeni wyróżnić zbiór \mathcal{S} zawierający wszystkie punkty odpowiadające różnym możliwym wariantom wektora strat. W zbiorze tym można wyróżnić trzy podzbiory: \mathcal{S}^D - podzbiór strat dopuszczalnych; \mathcal{S}^N - podzbiór strat niedopuszczalnych; oraz \mathcal{S}^K - podzbiór strat krytycznych. Spełnione są przy tym relacje:

$$\mathcal{S} = \mathcal{S}^D \cup \mathcal{S}^N \cup \mathcal{S}^K$$

oraz

$$\mathcal{S}^D \cap \mathcal{S}^N = \emptyset \quad \mathcal{S}^D \cap \mathcal{S}^K = \emptyset \quad \mathcal{S}^N \cap \mathcal{S}^K = \emptyset$$

Pierwszy podzbiór - \mathcal{S}^D zawiera punkty odpowiadające tym przypadkom strat, które można uznać w danej sytuacji za dopuszczalne, czyli nie uniemożliwiające osłanianemu zgrupowaniu wojsk wykonania postawionych przed nim zadań bojowych^{x/}.

Drugi podzbiór \mathcal{S}^N - zawiera punkty odpowiadające tym wariantom strat, które w danej sytuacji są niedopuszczalne, gdyż powodują obniżenie potencjalnych możliwości bojowych osłanianego zgrupowania wojsk do poziomu uniemożliwiającego osiągnięcie postawionych przed nim zadań bojowych^{x/}.

Trzeci podzbiór \mathcal{S}^K rozgranicza oba wymienione już podzbiory. Zawiera on punkty odpowiadające stratom na poziomie krytycznym tzw. stratom krytycznym. Przez straty na poziomie krytycznym rozumie się takie przypadki strat, dla których opisujący je wektor strat spełnia warunek, że jeśli przynajmniej jedna z jego składowych ulegnie zwiększeniu, to straty należy uznać za niedopuszczalne, gdy natomiast chociaż jedna ze składowych będzie zmniejszona, to straty można uznać za dopuszczalne.

Najistotniejszym problemem jest tutaj wyznaczenie podzbioru \mathcal{S}^K . Znając bowiem podzbiór rozgraniczający podzbiory \mathcal{S}^D i \mathcal{S}^N , obierwu-
~~-----~~
^{x/} Stosując zapis formalny można to przedstawić następująco:

$$\left(\{s_o\} \in \mathcal{S}^N \right) \Leftrightarrow \left[\bigvee_{\{s_o\} \in \mathcal{S}^K} : \{s_o\} \neq \{s_o\} \wedge \bigwedge_{o=1,0} s_o \geq s_o^k \right] \text{ natomiast } \left(\{s_o\} \in \mathcal{S}^D \right) \Leftrightarrow \left[\bigvee_{\{s_o\} \in \mathcal{S}^K} : \{s_o\} \neq \{s_o\} \wedge \bigwedge_{o=1,0} s_o < s_o^k \right]$$

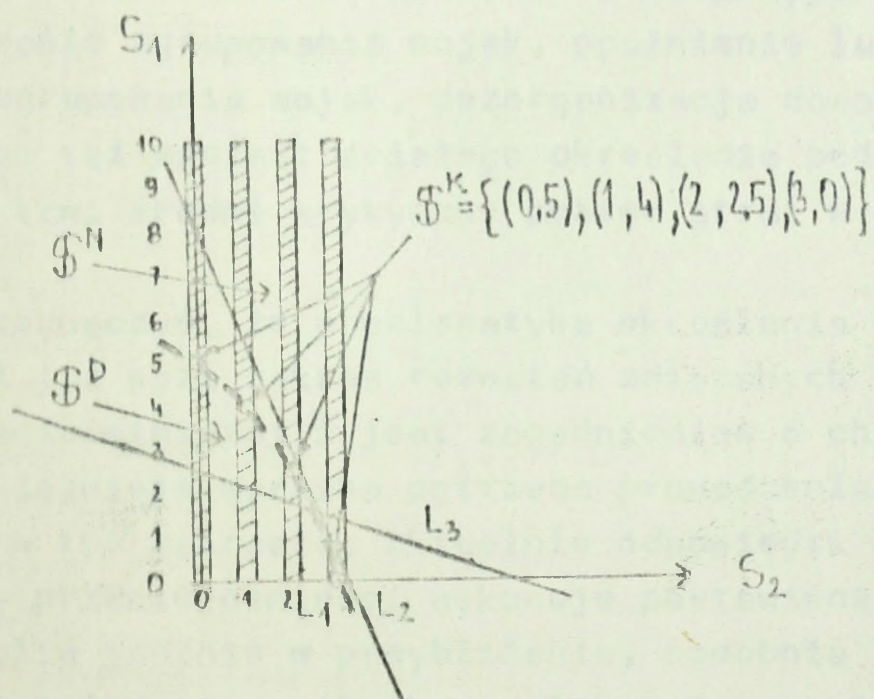
gdzie: \bigwedge - kwantyfikator ogólny /"dla każdego"/
 \bigvee - kwantyfikator szczególny /"istnieje takie ..."/

jąc różnicę między dowolnym punktem zbioru \mathcal{S} a odpowiednim punktem podzbioru \mathcal{S}^k , można łatwo na podstawie znaku przyrostu^{x/} wektora strat stwierdzić, czy punkt znajduje się w podzbiorze \mathcal{S}^N /gdy przyrost będzie dodatni/, czy też w podzbiorze \mathcal{S}^D /gdy przyrost będzie ujemny/.

Powyższe rozważenie można zilustrować następującym prostym przykładem:

Przykład

Niech osłaniane zgrupowanie składa się z dwóch obiektów /np. baterii artylerii i kompanii dowozu amunicji/. Wektor strat ma dwie współrzędne $\{S_1, S_2\}$. Funkcjonał strat pierwszego obiektu / S_1 / przyjmuje cztery wartości /np. $S_1 = 3$ oznacza obiekt zniszczony, $S_1 = 2$ oznacza obiekt obeszczędliwy, $S_1 = 1$ oznacza obiekt częściowo porażony ale sprawny, $S_1 = 0$ oznacza, że obiekt w ogóle nie był rażony/, zaś funkcyjonał strat drugiego obiektu / S_2 / przyjmuje w sposób ciągły wartości z przedziału /0,10/ /np. obrazują one utracone możliwości przewozowe kompanii/. Przestrzeń kartezjańska R^0 spełnia w tym przypadku warunek $R^0 = R^2$, czyli jest płaszczyzną. Założono, że na osi OX zaznaczone są wartości funkcyjonału S_1 , a na osi OY wartości funkcyjonału S_2 . Zbiór \mathcal{S} zawierający wszelkie możliwe warianty strat, to cztery odcinki zaznaczone na rysunku jako zakreskowane prostokąty.



Rys. I.2.1.

x/ Przy zwiększeniu strat w osłanianym zgrupowaniu wojsk będzie to tzw. przyrost dodatni, przy zmniejszeniu strat będzie to tzw. przyrost ujemny.

Dla określonej sytuacji bojowej zakłada się, że zbiór strat krytycznych obrazują punkty A, B, C, D leżące na przecięciu wskazanych wyżej odcinków z linią L_1 . Punkty ze zbioru \mathcal{S} leżące powyżej linii L_1 tworzą podzbiór \mathcal{S}^N - strat niedopuszczalnych, natomiast punkty leżące poniżej linii L_1 tworzą podzbiór \mathcal{S}^D obrazujący straty, które można uznać w danej sytuacji za dopuszczalne. Przebieg linii L_1 rozgraniczającej \mathcal{S}^D i \mathcal{S}^N w znacznym stopniu zależy od takich czynników, jak: sytuacja bojowa itp. Inne warianty przebiegu linii rozgraniczających obrazują na rysunku linie L_2 oraz L_3 .

Rzeczywistość badań wojekowych, ze względu na o wiele wyższy stopień złożoności, znacznie różni się od przedstawionego wyżej przykładu. Z utworzeniem modelu strat wiążą się bowiem dwa podstawowe problemy:

a/ określanie postaci funkcjonałów strat poszczególnych obiektów - w praktyce jest to bardzo trudne;

b/ określanie przy pomocy sformalizowanych metod krytycznego zakresu strat. Poziom strat krytycznych niełatwo jest ocenić m.in. z tego względu, że trudno jednoznacznie określić, jaki wpływ na wykonanie zadania bojowego przez całość osłanianego zgrupowania wojsk mają straty poszczególnych obiektów^{x/}. Za nierealistyczne należy bowiem uznać wymaganie aby $\mathcal{S}^D = \emptyset$, tzn. aby osłaniane wojska nie ponosiły żadnych strat. Dodatkową trudnością jest brak metod kwantyfikowania takich form oddziaływania nieprzyjaciela powietrznego jak: rozpoznanie zgrupowania wojsk, opóźnienie lub wręcz uniemożliwienie przegrupowania wojsk, dezorganizacja dowodzenia wojskami itp. Dlatego też zamiast ścisłego określenia podzbioru \mathcal{S}^K podaje się często tzw. średni krytyczny poziom strat w danym zgrupowaniu wojsk.

Należy zaznaczyć, że problematyka określenia podzbiorów $\mathcal{S}^K, \mathcal{S}^D$. \mathcal{S}^N wychodzi już poza zakres rozważań związanych z działaniem wojsk obrony przeciwlotniczej i jest zagadnieniem o charakterze ogólnowojskowym. Istnieje wyraźna potrzeba prowadzenia odrębnych dokładnych badań w tym zakresie. Aktualnie odpowiedzi na pytanie, czy system obrony przeciwlotniczej wykonuje postawione przed nim zadania, można udzielić jedynie w przybliżeniu, podobnie jak w przybliżeniu oraz w sposób jedynie ogólnikowy /lub też ograniczony do komend i rozkazów /bez określania głębszego celu/, określa się zadania bojowe / Pododdziałów, oddziałów i związków taktycznych.

jowe dla systemów obrony przeciwlotniczej różnych zgrupowań wojsk.

Dla wyznaczenia wartości wskaźnika efektywności bojowej danego systemu obrony przeciwlotniczej nie wystarczy zdefiniowanie zasad, przy pomocy których ocenia się fakt wykonania zadania bojowego. Niezbędna jest ponadto umiejętność prognozowania rozwoju sytuacji, czyli określania prawdopodobieństwa takiego przebiegu działań bojowych, że zadania bojowe postawione przed systemem obrony przeciwlotniczej będzie można uznać za wykonane. Wiążą się z tym dwa silnie skorelowane ze sobą zagadnienia.

1. Jaki będzie prawdopodobny sposób działania nieprzyjaciela powietrznego, czyli: jakim potencjałem bojowym będzie on dysponował, oraz w jaki sposób będzie go wykorzystywał /w jakiego rodzaju zadaniach bojowych, gdzie, do niszczenia jakich obiektów? itp./?

2. Jakie będą prawdopodobne rezultaty działania systemu obrony przeciwlotniczej, czyli: które środki napadu powietrznego, kiedy i w jakim zakresie będą: niszczone, ostrzeliwane, wiązane walką powietrzną lub poddane innym formom oddziaływania ze strony systemu obrony przeciwlotniczej, mającym na celu obniżenie potencjalnych możliwości bojowych nieprzyjaciela powietrznego? Syntetycznie pytanie to można sformułować następująco: kiedy, gdzie i jaka część potencjału bojowego środków napadu powietrznego pozostanie prawdopodobnie niezrealizowana w wyniku oddziaływania systemu obrony przeciwlotniczej?

Oba zagadnienia rozpatruje się w odniesieniu do sytuacji, w której osłaniane zgrupowanie wojsk ponosi straty na poziomie krytycznym. Aby odpowiedzieć na pytanie, czy system obrony przeciwlotniczej wykona postawione przed nim zadania bojowe, trzeba określić relację między aktualną wartością potencjału bojowego środków napadu powietrznego^{x/} - PB^{SNP} , a potencjałem bojowym krytycznym^{xx/} - PB^{KRYT} .

x/ Przez potencjał bojowy środków napadu powietrznego - PB^{SNP} , rozumie się wyrażoną w umownych jednostkach przeliczeniowych, potencjalną zdolność nieprzyjaciela do zadawania strat w osłanianym zgrupowaniu wojsk. Przy określaniu wielkości PB^{SNP} stosuje się umowne jednostki przeliczeniowe z tego n.in. względu, że przy wyznaczeniu efektywności bojowej nie wykorzystuje się bezwzględnych wartości PB^{SNP} , lecz jedynie określone relacje między różnymi potencjałami bojowymi.

xx/ Potencjał bojowy krytyczny - PB^{KRYT} , to minimalna wymagana w założonej sytuacji bojowej wartość potencjału bojowego, którą musi dysponować nieprzyjaciel powietrzny, aby zadać osłanianemu zgrupowaniu wojsk straty na poziomie krytycznym.

Funkcję przyporządkowującą określonym wariantom strat $\{s_0\} \in \mathcal{S}$, wartości potencjału bojowego środków napadu powietrznego niezbędno- go do zadania tych strat oznaczono symbolem V

$$V: \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}$$

Funkcja ta wewnątrz podzbioru strat krytycznych \mathcal{S}^K może przyjmować różne wartości, czyli do zadania strat krytycznych w różnych wariantach wymagane mogą być różne wartości potencjału bo- jowego środków napadu powietrznego:

$$\begin{matrix} V \\ \{s_1, \dots, s_0\} \in \mathcal{S}^K \\ \{s'_1, \dots, s'_0\} \in \mathcal{S}^K \end{matrix} : \{s_1, \dots, s_0\} \neq \{s'_1, \dots, s'_0\} \cap V(\{s_1, \dots, s_0\}) \neq V(\{s'_1, \dots, s'_0\})$$

Oznacza to, że różne warianty strat krytycznych $\{s_0\} \in \mathcal{S}^K$, mimo iż są porównywalne pod względem wpływu na dalsze działania bojowe osłanienego zgrupowania wojsk, mogą się znacznie różnić pod wzglę- dem niezbędnego dla ich osiągnięcia wysiłku nieprzyjaciela powie- trznego.

Nie można przewidzieć w sposób ścisły jakie obiekty, kiedy i w jaki sposób będzie atakował nieprzyjaciel powietrzny. Można nato- miast, traktując pojedynek systemu obrony przeciwlotniczej z nie- przyjacielem powietrznym jako grę antagonisticzną, przyjmować że nieprzyjaciel będzie optymalizował swoje działanie. Oznacza to, że nieprzyjaciel będzie wybierał te warianty działania, które będą najbardziej niekorzystne dla systemu obrony przeciwlotniczej, sta- rając się przy tym swoje zamiary zrealizować możliwie najmniejszym wysiłkiem. Spośród wariantów strat uznanych za krytyczne wybierać będzie najprawdopodobniej te, dla osiągnięcia których będzie musiał użyć minimalny potencjał bojowy, czyli:

$$PB^{KRYT} = \min_{\{s_1, \dots, s_0\} \in \mathcal{S}^K} V(\{s_1, \dots, s_0\})$$

Aby określić wskaźnik efektywności bojowej systemu obrony prze- ciwlotniczej - prawdopodobieństwo wykonania zadania bojowego P^{WZB} - należy wyznaczyć prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia polegającego na tym, że system obrony przeciwlotniczej spowoduje obniżenie po- tencjału bojowego nieprzyjaciela PB^{SNP} , do poziomu niższego niż potencjał bojowy krytyczny PB^{KRYT} .

$$P^{WZB} = P\{PB^{SNP} - PB^{OPL} < PB^{KRYT}\}$$

gdzie:

P_B^{OPL} - oznacza potencjał bojowy systemu obrony przeciwlotniczej^{x/}.

Ze względu na przyjęty w rozprawie cel badań, nie jest konieczne wyznaczanie bezwzględnej wartości wskaźnika efektywności bojowej. Dla porównywania różnych wariantów rozwiązań istotna jest przede wszystkim relacja między wartościami wskaźnika efektywności bojowej odpowiadającymi tym wariantom. W dalszych badaniach zamiast P^{WZB} można wykorzystywać inną funkcję o tej samej lub przynajmniej zbliżonej monotoniczności, a więc rosnącą wtedy, gdy rośnie P^{WZB} , a malejącą przy zmniejszaniu się wartości P^{WZB} . Stosowanie takiej funkcji jest celowe oczywiście tylko wówczas, jeśli jest ona łatwiejsza do wyznaczenia, niż prawdopodobieństwo wykonania zadania bojowego P^{WZB} .

Funkcją, która spełnia warunek zgodnej monotoniczności oraz łatwości wyznaczenia może być tzw. stosunek sił - w dalszej części pracy oznaczono tę funkcję symbolem "1:Q".

O ile w walce ogólnowojskowej pojęcie "stosunek sił" jest rozumiane dość jednoznacznie, to w odniesieniu do walki systemu obrony przeciwlotniczej z nieprzyjacielem powietrznym pod pojęciem to podkłada się liczne znaczenia, często znacznie różniące się między sobą. Tylko niektóre ze spotykanych w literaturze definicje i wzory do określania stosunku sił, można uznać za przydatne do porównywania różnych wariantów rozwiązań pod kątem efektywności bojowej.

Najprostszym wariantem "stosunku sił" jest przedstawiona w pracy /85/ propozycja oparcia go o następujący wzór:

$$Q = \frac{N^{ZN}}{N^{OG}}$$

gdzie: N^{OG} - oznacza całkowitą ilość środków napadu powietrznego w nalocie,

N^{ZN} - oznacza ilość zniszczonych środków napadu powietrznego.

Także prosty, choć nieco inny wzór dla określania stosunku sił przedstawiono w pracy /60/:

x/ Potencjał bojowy systemu obrony przeciwlotniczej - P_B^{OPL} - jest miarą możliwości bojowych systemu. Oznacza on wielkość o jaką obniży się potencjał bojowy środków napadu powietrznego nieprzyjaciela w wyniku oddziaływania systemu obrony przeciwlotniczej.

$$Q = \frac{N^0}{N^C}$$

gdzie: N^C - oznacza ilość środków napadu powietrznego znajdujących się w czasie jednego cyklu strzelania nad osłanianym zgrupowaniem wojsk;

N^0 - oznacza ilość jednocześnie możliwych do wykonania ostrzelań celów powietrznych przez system OPL.

Obie propozycje rozpatrywane pod kątem możliwości wykorzystania do oceny efektywności bojowej systemu obrony przeciwlotniczej mają istotne wady. Wśród tych wad można wyróżnić:

- nieuwzględnianie innych, niż oddziaływanie ogniowe sposobów wpływania systemu obrony przeciwlotniczej na obniżenie potencjału bojowego nieprzyjaciela powietrznego;

- nierozróżnianie niejednakowej mocy niszczącego oddziaływania różnych typów środków obrony przeciwlotniczej, na potencjał bojowy środków napadu powietrznego.

Ponadto bardzo istotną wadę obu wskaźników można zilustrować na przykładzie:

Przykład

W nalocie bierze udział 50 samolotów /lub 50 samolotów znajduje się w czasie jednego cyklu strzelania nad osłanianym zgrupowaniem wojsk/. Jeśli system obrony przeciwlotniczej może zniszczyć /lub jednocześnie ostrzelać/ 5 spośród nich to stosunek sił osiąga wartość

$$Q = \frac{5}{50} = 0.1$$

Ten sam wynik uzyskuje się wówczas, gdy w nalocie bierze udział 100 samolotów a zniszczyć można 10 spośród nich. Mimo, iż wartość stosunku sił 1:Q jest w obu przypadkach jednakowa, to w pierwszym przypadku pozostaje 45 niezniszczonych samolotów, a w drugim przypadku 90 niezniszczonych samolotów. Ponadto bez dodatkowej informacji o tym, jak duże jest osłanianie zgrupowanie wojsk, nie wiadomo jaka jest wielkość zagrożenia ze strony owych 45 lub 90 samolotów.

Inny sposób wyznaczania stosunku sił przedstawiono w pracy /81/. Q wyznacza się tam według wzoru:

$$Q = \frac{PB^{OPL}}{PB^{SNP}}$$

gdzie: $PB^{\dot{S}NP}$ - oznacza sumaryczny potencjał bojowy środków napadu powietrznego biorących udział w nalocie;
 PB^{OPL} - oznacza potencjał bojowy systemu obrony przeciwlotniczej, czyli obniżenie $PB^{\dot{S}NP}$ spowodowane oddziaływaniem systemu i wyraża się wzorem:

$$PB^{OPL} = PB^1 + PB^2 + PB^3$$

przy czym:

PB^1 - oznacza potencjał bojowy tych środków napadu powietrznego, które wydzielono do obezwładnienia naziemnego systemu obrony przeciwlotniczej oraz do osłony przed lotnictwem myśliwskim;

PB^2 - oznacza potencjał bojowy tych środków napadu powietrznego z grupy uderzeniowej, które aż do rubieży wykonania ataku włącznie, zostały związane walką przez lotnictwo myśliwskie/nie dotyczy środków bezpilotowych/;

PB^3 - oznacza potencjał bojowy tych środków napadu powietrznego z grupy uderzeniowej, które zostały porażone przez środki obrony przeciwlotniczej przed wyjściem na rubież wykonywania ataku.

Sposób wyznaczenia Q przedstawiony przez W.M. Tarabanowa jest znaczącym postępowaniem w stosunku do propozycji uprzednio opisanych. Najistotniejszym osiągnięciem jest operowanie potencjałem bojowym jako wielkością uogólniającą pojedyncze wskaźniki ilościowo-jakościowe zarówno środków napadu powietrznego jak i różnych środków w systemie obrony przeciwlotniczej. Ponadto uwzględniono różnorodne formy i sposoby obniżania $PB^{\dot{S}NP}$ przez system obrony przeciwlotniczej^{x/}, w krańcowym przypadku przyjmując, że wymuszenie na nieprzyjacielu wydzielenia

x/ Choć rozszerzono zakres form oddziaływania systemu obrony przeciwlotniczej branych pod uwagę przy ocenie wpływu na obniżenie $PB^{\dot{S}NP}$, to tutaj także nieuwzględniono wszystkich istotnych form oddziaływania. Nie wzięto pod uwagę m.in. wpływu jaki ma fakt ostrzeliwania celu przez rakiety przeciwlotnicze małego i średniego zasięgu na jakość wykonywania zadań bojowych przez załogi ostrzeliwanych samolotów. Tymczasem sama świadomość pobytu nad rejonem osłanianym przez system obrony przeciwlotniczej powoduje 1,5-2 krotne zmniejszenie celności ataku w porównaniu z działaniami w warunkach ćwiczebnych.

pewnej części się do obezwładnienia systemu obrony przeciwlotniczej stanowi "zysk" z działania systemu. Wadą powyższego rozwiązania jest brak bezpośredniego związku wartości Q z zagrożeniem, jakie stanowi dla osłanianego zgrupowania wojsk potencjał bojowy doniesiony przez nieprzyjaciela do obiektów ataku. Aczkolwiek doskonalsza niż we wcześniej wymienionych przypadkach jest metoda porównywania, to niezmiennie pozostaje zasada porównywania i wyznaczania relacji między możliwościami bojowymi środków napadu powietrznego a możliwościami bojowymi systemu obrony przeciwlotniczej. W dalszym ciągu nie bierze się tu pod uwagę relacji między miarą możliwości bojowych a wymaganiami, które powinny być spełnione aby doprowadzić do wykonania zadania bojowego. Dlatego w mocy pozostaje sygnalizowana wcześniej teza, że nawet dla określonego zgrupowania wojsk oraz wariantu systemu obrony przeciwlotniczej, dla różnych nalotów /a więc i różnych wartości PB^{SNP} / nie można na podstawie tak wyznaczonej wartości wskaźnika Q , porównać nawet mocy rażącego oddziaływania systemu obrony przeciwlotniczej. Stąd też wniosek, że i ten wskaźnik nie jest wystarczający jako podstawa do globalnej oceny efektywności bojowej.

W pracy do oceny i porównywania globalnej efektywności bojowej różnych wariantów systemu obrony przeciwlotniczej postanowiono wykorzystywać jako wskaźnik ilościowy wielkość "1:Q" przedstawioną już m.in. w pracy /50/ gdzie Q wyrażono wzorem:

$$Q = \frac{PB^{OPL} + PB^{KRYT}}{PB^{SNP}}$$

gdzie:

- PB^{SNP} - oznacza potencjał bojowy środków napadu powietrznego;
- PB^{OPL} - oznacza potencjał bojowy systemu obrony przeciwlotniczej mierzony przez ubytek PB^{SNP} wywołany różnymi formami oddziaływania systemu;
- PB^{KRYT} - oznacza potencjał bojowy krytyczny. Jest to minimalna ilość potencjału bojowego, którą muszą dysponować środki napadu powietrznego w rejonie obiektów ataku aby spowodować w osłanianym zgrupowaniu wojsk straty na poziomie krytycznym.

Wartości Q wyliczone wg powyższego wzoru należy interpretować jako wskaźniki relacji między sytuacją badaną /modelowaną/, a sytuacją w której nieprzyjaciel dysponuje na rubieży wykonywania ataku.

ku potencjałem bojowym umożliwiającym zadanie strat na poziomie krytycznym. Jakościowa interpretacja tak wyznaczanego wskaźnika Q jest następująca:

- $(1 : Q) < 1$ oznacza, że zrealizowanie przez system obrony przeciwlotniczej w danej sytuacji postawionych przed nim zadań jest bardzo prawdopodobne;
- $(1 : Q) \approx 1$ oznacza stan quasirównowagi. Jednakowo prawdopodobne jest zarówno wykonanie jak i niewykonanie przez system obrony przeciwlotniczej postawionych przed nim zadań;
- $(1 : Q) > 1$ oznacza sytuację, w której prawdopodobne jest, że nieprzyjaciel zada straty na poziomie wyższym niż krytyczny, czyli system obrony przeciwlotniczej nie wykona postawionych przed nim zadań.

Stosunek między wartością Q a liczbą 1 jest podstawą do ilościowej oceny skuteczności /nieskuteczności/ działania systemu obrony przeciwlotniczej.

Bezpośredni i prosty związek między tak wyznaczoną wartością Q a stopniem realizacji podstawowego celu działania systemu obrony przeciwlotniczej, jakim jest ogólnie rzecz biorąc zmniejszenie zagrożenia z powietrza dla osłanianego zgrupowania wojsk, stanowi o przydatności powyższego wskaźnika dla ilościowej i jakościowej oceny oraz porównywania efektywności bojowej w systemie obrony przeciwlotniczej. Wskaźnik ten oczywiście nie powinien być jedynym kryterium oceny efektywności bojowej.

Aby ocena efektywności bojowej systemu była pełna należy równolegle wyznaczać wskaźniki innego typu omówione wcześniej oraz wskaźniki związane z podsystemami wyróżnionymi w przekroju zarówno funkcjonalnym jak i hierarchicznym. Żaden z analizowanych wskaźników nie może być bowiem uznany za wystarczający do globalnej oceny systemu obrony przeciwlotniczej. Optymalizacja w odniesieniu do systemu obrony przeciwlotniczej jest więc w istocie optymalizacją wielokryterialną, czyli tzw. polioptymalizacją.

Istotnym problemem związanym z oceną efektywności systemu obrony przeciwlotniczej jest konieczność odpowiedniego uwzględniania trwałości systemu. Ocena efektywności bojowej tylko w wybranych, pojedynczych przedziałach czasu, bez uwzględniania szerszego horyzontu czasowego, może prowadzić do błędu systematycznego oraz wyciągania błędnych wniosków. Dlatego też potrzebny jest wskaźnik umożliwiający ocenę systemu obrony przeciwlotniczej w dłuższych okresach czasowych.

Wskaźnikiem takim jest np. tzw. "dynamiczny" wskaźnik "1 : Q^{DYN} ",
gdzie:

$$Q^{DYN} = \frac{Q_{i-1}}{Q_i}$$

gdzie:

- Q_i - oznacza wartość wskaźnika Q , dla i -tego etapu działań;
- Q_{i-1} - oznacza wartość wskaźnika Q wyznaczoną na etapie poprzedzającym etap i -ty.

Przedstawione w niniejszym rozdziale uwagi prowadzą do wniosku, że optymalizacja jest w odniesieniu do systemu obrony przeciwlotniczej działaniem trudnym z tego m.in. względu, że globalny cel działania można sformułować jedynie ogólnie, a w praktyce kierując się wieloma różnymi wskaźnikami trzeba w istocie rzeczy uwzględnić wiele różnych celów cząstkowych. Pociąga to za sobą konsekwencje wyrażające się m.in. w trudnościach związanych z organizacją poszukiwania i wyznaczaniem rozwiązań optymalnych w sensie globalnym.

ROZDZIAŁ II

MODEL FUNKCJONOWANIA SYSTEMU OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ W WALCE Z NIEPRZYJACIELEM POWIETRZNYM

Model systemu obrony przeciwlotniczej prezentowany w rozprawie powstał w oparciu o studia i analizy oraz wnioski wpływające m.in. z eksploatacji różnych systemów obliczeniowych na EMC opartych o modele analityczne^{x/}, oraz badań modelu i systemu oprogramowania na EMC symulującego procesy walki systemu obrony przeciwlotniczej z nieprzyjacielem powietrznym^{xx/}.

W trakcie konstruowania modelu systemu obrony przeciwlotniczej konieczne jest uwzględnianie wielu różnych, częściowo sprzecznych wymagań. Model przeznaczony jest przede wszystkim do pomiaru wpływu, jaki wywiera kierowanie obroną przeciwlotniczą na efektywność funkcjonowania całego systemu. Dlatego przy jego konstruowaniu uwzględniać należy głównie te aspekty funkcjonowania systemu, które bezpośrednio związane są z procesem kierowania. Z kolei zgodnie z zasadami analizy systemowej wymaga się aby każde zjawisko badać jako problem obejmujący całokształt wzajemnie powiązanych elementów, których funkcjonowanie podporządkowane jest jednemu wspólnemu celowi. W związku z tym trzeba możliwie szeroko uwzględniać wszelkie zjawiska, które mogłyby wpływać na globalną efektywność systemu obrony przeciwlotniczej. Jak bowiem łatwo zauważyć, decyzje wpływające nawet z racjonalnych przesłanek, wydające się być optymalnymi z cząstkowego punktu widzenia /w pojedynczych elementach struktury organizacyjnej, czy nawet w wybranych podsystemach/, nie gwarantują doprowadzenia do rozwiązań optymalnych w skali globalnej^{xxx/}.

x/ Systemy MATRYCA AF, MINIMOP-ROO, GROT-PL.

xx/ Model ten został oprogramowany i eksploatuje się go jako system POSTEP-3.

xxx/ Podczas działań bojowych w Wietnamie pododdziały OPL DRW stosowały niejednokrotnie działania z zasadzki. Prowadziło to wielokrotnie /m.in. ze względu na zaskoczenie nieprzyjaciela/ do zadania znacznych strat w lotnictwie agresora. Ograniczając rozważania do skali pododdziału można dojść do wniosku, że działania takie są bardzo efektywne, szczególnie ze względu na wskaźnik strat zadanych nieprzyjacielowi. Natomiast w skali globalnej, biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia osłony wybranych obiektów, zauważa się, że działania takie tylko w wybranych sytuacjach są efektywne w skali globalnej tzn. prowadzą do obniżenia strat osłanianych obiektów.

Ograniczenie analizy do wąskiej problematyki i wybranych elementów /podsystemów/ doprowadzić może do tego, że znaczny wysiłek włożony w doskonalenie pojedynczych funkcji, czy też funkcjonowanie określonych podsystemów nie przyniesie pozytywnych efektów z punktu widzenia systemu nadrzędnego. Uwagi te dotyczą w szczególności podsystemu dowodzenia, który jak już to zaznaczono na początku rozprawy, jest tylko jednym z elementów systemu obrony przeciwlotniczej. Należy więc w procesie badawczym /a więc także i w modelu systemu/ uwzględniać zarówno systemowe uwarunkowania procesu kierowania, a więc wszystkie czynniki, które prawidłowe i pełne realizowanie funkcji związanych z tym procesem mogą ograniczać, jak i systemowy efekt, czyli wpływ jaki proces kierowania ma na realizację założonych funkcji całego systemu obrony przeciwlotniczej. Dlatego a priori odrzuca się możliwość prowadzenia badań procesu kierowania wyizolowanego z jego otoczenia systemowego, a dąży się do stworzenia takich warunków, aby móc w pełni uwzględniać zarówno wpływ podstawowych uwarunkowań i ograniczeń, jak i określać globalną efektywność procesu kierowania.

Skonstruowanie takiego modelu systemu obrony przeciwlotniczej, który będąc użyteczny przy realizacji założonych w rozprawie celów badawczych, spełniałby przedstawione wyżej wymagania, nie jest zadaniem prostym. Jednocześnie ze względów praktycznych optymalizacji procesu kierowania nie można dokonywać w oparciu o inne metody badawcze, takie jak badania w warunkach poligonowych, lub analiza działań bojowych w lokalnych konfliktach zbrojnych.

Pełnego badania systemu w warunkach poligonowych nie można brać pod uwagę m.in. ze względów ekonomicznych. Dla badań systemowych należałoby bowiem rozwijać oprócz SD /PD/ wszystkie istotne elementy /lub ich symulatory/ innych podsystemów, a więc zarówno środki rozpoznania jak i środki ogniowe, bazy, środki i organy zaopatrzenia, przynajmniej wybrane elementy osłanianego zgrupowania wojsk itd., a także odpowiednio odwzorowywać oddziaływanie nieprzyjaciela powietrznego na te wszystkie elementy. Ponadto badanie systemu w warunkach poligonowych posiada określoną specyfikę, powodującą to, że sposoby wykonania zadań poligonowych różnią się od sposobów jakie mogą zaistnieć na polu walki. Główne z różnic polegają na tym, że:

- ugrupowanie na poligonie rozwija się na niewielkiej ograniczonej przestrzeni, co narzuca m.in. określony sposób kierowania walką, inny niż podczas działań na realnym polu walki;

- w przypadku badań poligonowych trasy lotu celów są w przybliżeniu znane i warunki określone są rodzajem wykonywanego zadania;
- modele nalotów celów powietrznych znacznie różnią się od tych, które miały miejsce np. w Wietnamie i na Bliskim Wschodzie i od tych, które w procesie szkolenia stosuje NATO;
- stosowane zakłócenia pasywne i aktywne są mało intensywne, wykonywane są przeważnie przez urządzenia rozmieszczone na ziemi a nie przez cele powietrzne.

Biorąc dodatkowo pod uwagę fakt, że w niektórych przypadkach badania /np. wspomagające odpowiednie decyzje planistyczne/ należy prowadzić na etapie gdy: brak jest dostatecznej ilości egzemplarzy odpowiedniego sprzętu; wyprodukowano tylko egzemplarze prototypowe lub na podstawie dokumentów projektowych znane są tylko ogólne parametry taktyczno-techniczne - należy odrzucić możliwość prowadzenia odpowiednich badań w warunkach poligonowych.

Doświadczenia minionych wojen oraz współczesnych lokalnych konfliktów zbrojnych - w szczególnych przypadkach bardzo cenne - nie mogą być w pełni uwzględniane w wojskowych badaniach naukowych m.in. dlatego, że skala zjawisk jest ograniczona rozmiarami teatru działań wojennych, a warunki prowadzenia działań bojowych w istotny sposób różnią się od prawdopodobnego pola walki na europejskim TDW.

W tej sytuacji modelowanie zjawisk zachodzących podczas walki z nieprzyjacielem powietrznym wydaje się być jedynym praktycznie dostępnym sposobem badania systemu obrony przeciwlotniczej.

Doświadczenia związane z konstruowaniem oraz eksploatacją systemów obliczeniowych opartych o modele analityczne prowadzą do wniosku, że są one mało przydatne do realizacji założonych celów badawczych. Wynika to przede wszystkim z dialektycznej sprzeczności między dokładnością i adekwatnością modelu a jego prostotą i użytecznością w procesie badawczym. Próby skonstruowania modeli analitycznych, które jednocześnie odwzorowywałyby dostatecznie wiernie poszczególne zjawiska zachodzące w systemie obrony przeciwlotniczej a przy tym, dzięki rozwiązywalności w sensie matematycznym, byłyby możliwe do praktycznego wykorzystania - jak dotychczas nie zakończyły się pełnym sukcesem.

W rozprawie uwaga została skupiona na symulacyjnej metodzie badawczej^{x/}, a co za tym idzie i na symulacyjnym modelowaniu systemu.

x/ Metoda symulacyjna badania procesu polega na imitacji elementarnych zjawisk zachodzących w badanym procesie, z zachowaniem ich c.d.odnośnika na s.46

Badania systemu obrony przeciwlotniczej, w szczególności procesu kierowania oraz wpływu jaki ma ten proces na funkcjonowanie systemu, prowadzone są na specjalnie przygotowanym modelu symulacyjnym. Model ten ma swoją specyfikę wynikającą z założonego celu badawczego oraz przedstawionych wcześniej wymagań i ograniczeń. Ostateczny kształt modelu narodził się jako kompromis między wieloma, często sprzecznymi, wymaganiami m.in. z jednej strony dla zwiększenia adekwatności należało dążyć do maksymalnej szczegółowości, z drugiej strony konieczne było uwzględnianie ograniczonej zdolności obliczeniowej zestawu komputerowego.

Ponieważ problemy badane są w makroskali, a mierzy się głównie efekty ogólnosystemowe, możliwe stało się dokonanie uogólnień i abstrakcji. Dlatego też przy analizie poszczególnych zjawisk pod uwagę bierze się jedynie ich cechy najistotniejsze, te które mają wyraźnie zaznaczalny wpływ na funkcjonowanie systemu.

W modelu wyróżniono przede wszystkim te elementy systemu obrony przeciwlotniczej, które związane są z realizacją procesu kierowania. Elementami tymi, czyli tzw. obiektami symulacji są w szczególności:

- ogniwa decyzyjne, czyli Połączone Stanowiska Dowodzenia /PISD/, Stanowiska Dowodzenia/SD/ i Punkty Dowodzenia/PD/obroną przeciwlotniczą
- elementy systemu rozpoznania, a wśród nich stacje radiolokacyjne określonych typów, działające w różnorodnych ogniwach struktur organizacyjnych;
- elementy podsystemów rażenia, a wśród nich w szczególności:
 - pododdziały ogniwe określonych typów, w różnorodnych ogniwach struktur organizacyjnych;
 - lotnictwo myśliwskie wydzielone do realizacji zadań OPL dyżurujące w strefach oraz na lotniskach w pierwszym i drugim stopniu gotowości bojowej;

c.d. odnośnika ze s. 45

kolejności w czasie, oraz na zbieraniu informacji statystycznej opisującej prognozowaną historię stanów procesu. Z tego punktu widzenia można wskazać na pewną analogię między badaniem procesów metodą symulacyjną, a eksperymentalnym badaniem procesów zachodzących w systemach rzeczywistych. Zarówno w jednym jak i drugim przypadku, istnieje możliwość wykorzystania informacji statystycznej o stanach procesu do rozwiązywania postawionych zadań, a więc wyznaczenie interesujących nas zależności i charakterystyk w systemie obrony przeciwlotniczej podczas odpiernania nalotu nieprzyjaciela.

- nieprzyjaciel powietrzny, ze szczególnym uwzględnieniem:
 - środków napadu powietrznego;
 - ogniw walki radioelektronicznej, czyli źródeł zakłóceń radioelektronicznych oddziaływujących: ze strefy w powietrzu; z ziemi przed linią styczności bojowej walczących wojsk; oraz ze środków napadu powietrznego działających w nalocie;
 - obiekty będące celami ataku dla nieprzyjaciela powietrznego. Wśród nich oprócz pododdziałów i oddziałów z osłanianego zgrupowania wojsk uwzględnia się także: pododdziały ogniowe, stacje radiolokacyjne, stanowiska i punkty dowodzenia oraz lotniska.

W kolejnych punktach niniejszego rozdziału przedstawiono szczegółowe założenia modelowe oraz sposoby jakimi symuluje się funkcjonowanie podstawowych podsystemów uczestniczących w walce systemu obrony przeciwlotniczej z nieprzyjacielem powietrznym.

II.1. Nieprzyjaciel powietrzny

Podstawowym celem działania nieprzyjaciela powietrznego jest zadawanie strat wojskom i obiektom oraz wywalczenie i utrzymanie panowania w powietrzu. Dla osiągnięcia zamierzonego celu nieprzyjaciel powietrzny dysponowane siły i środki - a wśród nich głównie środki napadu powietrznego /ŚNP/, oraz środki walki radioelektronicznej /WRE/ dzieli na zespoły wykonujące działania o zbliżonym celu i charakterze. Dla potrzeb modelu symulacyjnego wyróżnia się cztery rodzaje zadań bojowych realizowanych przez nieprzyjaciela:

- 1/ obezwładnianie podsystemu rozpoznania przez niszczenie i obezwładnianie oraz zakłócanie stacji radiolokacyjnych;
- 2/ osłona grupy uderzeniowej w nalocie przed oddziaływaniem lotnictwa myśliwskiego przez wydzielanie do tego celu specjalnych grup samolotów;
- 3/ obezwładnianie podsystemu rażenia przez niszczenie i obezwładnianie oraz zakłócanie pododdziałów ogniowych;
- 4/ niszczenie i obezwładnianie wojsk i obiektów.

Przyjmuje się, że w początkowym okresie trwania nalotu, nieprzyjaciel wprowadza do walki siły i środki realizujące poszczególne zadania w kolejności, którą zaznaczono przy wymienianiu zadań. Natomiast w miarę upływu czasu, ciągłość działań w czasie i przestrzeni powoduje, że poszczególne zadania realizowane są równolegle.

Zakłada się, że podział wysiłku nieprzyjaciela powietrznego na poszczególne zadania bojowe wynika przede wszystkim z efektywności odpowiednich podsystemów OPL wyrażonej przez ich wpływ na globalną skuteczność walki całego systemu z nieprzyjacielem powietrznym. Zależność ta wyraża się w ten sposób, że jeśli sprawne funkcjonowanie określonego podsystemu znajduje znaczący wyraz w efektywności bojowej całego systemu obrony przeciwlotniczej, to nieprzyjaciel stara się ten podsystem możliwie szybko i skutecznie obezwładnić. Wysiłek skierowany przez nieprzyjaciela na obezwładnienie danego podsystemu jest proporcjonalny do zagrożenia jakie stwarza dla niego sprawne funkcjonowanie tego podsystemu przez to, że zwiększa możliwości bojowe całego systemu obrony przeciwlotniczej. Regułę określania podziału wysiłku można ogólnie zarysować^{x/} następująco:

Dla każdego podsystemu odpowiednio określa się i tablicuje:

a/ przedziały wartości efektywności:

$$/E_0^1, E_1^1/, /E_1^1, E_2^1/, /E_2^1, E_3^1/, \dots, /E_{k-1}^1, E_k^1/;$$

b/ progowe wartości wskaźników obrazujących intensywność wysiłku nieprzyjaciela skierowanego na obezwładnianie danego podsystemu

$$W_1^1, W_2^1, \dots, W_k^1$$

w ten sposób, że znając numer przedziału, w którym mieści się wartość wskaźnika efektywności podsystemu - E^1 , można wyznaczyć odpowiednią wartość wskaźnika wysiłku skierowanego przez nieprzyjaciela na obezwładnienie tego podsystemu - W^1 , zgodnie z regułą:

$$E_{j-1}^1 \leq E^1 < E_j^1 \Rightarrow W^1 = W_j^1$$

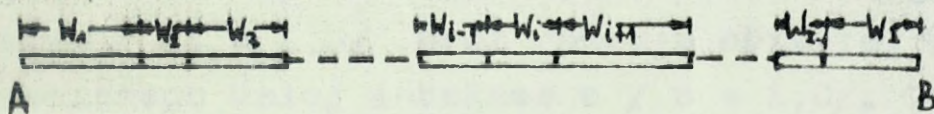
Na początku badania symulacyjnego dane określające reguły podziału wysiłku przez nieprzyjaciela przyjmuje się aplikacyjnie, na podstawie ogólnych rozważań teoretycznych oraz danych o nieprzyjacielu powietrznym dostępnych z materiałów wywiadowczych. Natomiast na kolejnych etapach badań zakłada się, że nieprzyjaciel optymalizuje swoje działanie. Polega to na dostosowywaniu rozdziału sił i środków między poszczególne zadania bojowe do aktualnych warunków pola walki /np. wydzielaniu dodatkowych sił do osłony przed lotnictwem myśliwskim wówczas, gdy działanie lotnictwa myśliwskiego powoduje zbyt duże straty w grupach uderzeniowych/. Zakłada się, że

x/ Szczegółowe dane przedstawiono w załączniku 4 pkt 1.

optymalizując swoje działanie nieprzyjaciel nie tylko uwzględnia doświadczenia z wcześniejszych działań bojowych, ale także prognozuje przebieg i rezultat działań. Wprowadzenie założenia tego typu wynika z ogólnej zasady stosowanej przy optymalizacji /m.in. w teorii gier/, że optymalizując własne działanie należy zawsze brać pod uwagę najbardziej niekorzystny dla siebie wariant działania przeciwnika.

Znajomość reguły, którą stosuje nieprzyjaciel przy podziale wysiłku na poszczególne zadania bojowe jest podstawą do określenia listy obiektów, które są atakowane przez środki napadu powietrznego działające w nalocie. Spośród obiektów, będących potencjalnymi celami ataku /stacje radiolokacyjne, pododdziały ogniowe i pozostałe obiekty/ losuje się obiekty z prawdopodobieństwem proporcjonalnym do wagi operacyjnej przypisanej obiektom. Regułę losowania obrazowo^{x/} można przedstawić przy pomocy następującego schematu:

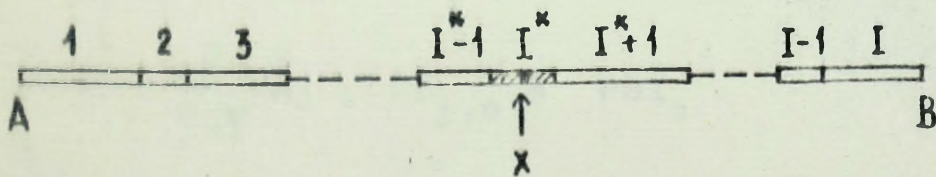
a/ tworzy się odcinek /AB/, który jest sumą odcinków cząstkowych odpowiadających poszczególnym potencjalnym celom ataku. Odcinki cząstkowe mają długości odpowiadające wagom operacyjnym poszczególnych obiektów



Rys. II.1.1.

b/ wg rozkładu równomiernego losuje się punkt X z odcinka AB. Następnie sprawdza się w obrębie którego odcinka cząstkowego znajduje się wylosowany punkt X. Obiekt I, który odpowiada temu odcinkowi cząstkowemu traktuje się jako wylosowany; w zapisie symbolicznym reguła, ta ma następującą postać:

$$0 < X < \sum_{i=1}^n W_i \quad 1 \leq I^* \leq n \quad I^* \text{-nr wylosowanego obiektu} \iff \sum_{i=1}^{I^*-1} W_i < X \leq \sum_{i=1}^{I^*} W_i$$



Rys. II.1.2.

x/ Szczegółowa reguła jest przedstawiona w załączniku 4 pkt 2.

Znając podział wysiłku nieprzyjaciela i obiekty wybrane jako cele ataku określa się sposób działania nieprzyjaciela powietrznego. Według aktualnie panujących poglądów przyjmuje się, że nieprzyjaciel dla osiągnięcia maksymalnej efektywności w działaniach bojowych, uderza na wybranych odcinkach starając się przełamać obronę przeciwlotniczą w wąskim pasie, a następnie w głębi ugrupowania działa małymi grupami środków napadu powietrznego. W modelu przyjmuje się, że najmniejszą wyróżnialną grupą środków napadu powietrznego działających w sposób zwarty jest tzw. "podgrupa" zwykle w składzie pary lub klucza^{x/}. Zespół podgrup wykonujących przelot do tego samego celu ataku zwany jest dalej "grupą". Grupy numerowane są indeksem s /s = 1,S/ a podgrupy indeksem g /g = 1,G/.

Skład grupy, czyli tych środków napadu powietrznego, które atakują wspólnie jeden obiekt, zależy od charakterystyki obiektu, który jest celem ataku. Liczność i jakościowy skład grupy dobierane są w ten sposób, aby potencjalne możliwości bojowe grupy gwarantowały, zależnie od żądania, zniszczenie lub obezwładnienie obiektu. W tym celu na podstawie danych o parametrach taktyczno-technicznych, uzbrojeniu oraz taktyce działania, określa się potencjał bojowy - PB, jakim dysponują środki napadu powietrznego. Wielkość PB zależy przede wszystkim od typu środka napadu powietrznego - oznaczonego dalej indeksem j /j = 1,J/ oraz rodzaju obiektu, który jest celem ataku - oznaczonego dalej indeksem o / o = 1,O/. Dane o potencjale bojowym różnych typów środków napadu powietrznego przy atakowaniu wyróżnionych rodzajów obiektów zapisane są w tablicy /PB_{j,o}/JxO^o. Jak już wspomniano skład grupy musi być taki, aby sumaryczny potencjał bojowy wszystkich środków napadu powietrznego wchodzących w skład grupy był nie mniejszy niż potencjał bojowy konieczny do obezwładnienia obiektu danego rodzaju - PBO_o, lub jego zniszczeniu - PBZ_o. Oznacza to spełnienie warunku:

$$\sum_{j=1}^J n_j \cdot PB_{j,o} \geq PBO_o$$

lub

$$\sum_{j=1}^J n_j \cdot PB_{j,o} \geq PBZ_o$$

x/ Dopuszcza się możliwość tworzenia większych grup, szczególnie wtedy, gdy celami ataku są duże i silnie bronione obiekty.

gdzie: n_j - oznacza ilość środków napadu powietrznego j -tego typu w grupie.

Przyjmuje się przy tym jako regułę, że obezwładnia się te obiekty których waga operacyjna nie przekracza 8, natomiast niszczy się te, które mają wagę operacyjną większą niż 8^{x/}.

$$\begin{array}{ll} w_1 \leq 8 & \text{obiekt obezwładniany} \\ w_1 > 8 & \text{obiekt niszczone} \end{array}$$

Aby grupa miała wystarczający potencjał bojowy, a jednocześnie nie była zbyt liczna, do jej składu włącza się, spośród możliwych do wyboru, przede wszystkim środki napadu powietrznego tego typu - j^* , który dysponuje najwyższym potencjałem bojowym przy zwalczaniu obiektów danego rodzaju:

$$j^* : 1 \leq j^* \leq J \wedge PB_{j^*,0} = \max_{1 \leq j \leq J} PB_{j,0} \wedge I_{j^*}^s > 0$$

gdzie: I_j^s - oznacza ilość w nalocie tych środków napadu powietrznego typu - j , które nie zostały jeszcze wydzielone do atakowania innych obiektów.

Liczność grupy ustala się w ten sposób, aby spełniony był warunek nałożony wcześniej na sumaryczny potencjał bojowy.

Jeśli liczność grupy środków napadu powietrznego atakujących jeden obiekt jest duża, to grupę tę dzieli się na podgrupy. Wynika to m.in. z trudności związanych z koordynacją działań w rejonie ataku. Podział na podgrupy w modelu dokonywany jest w drodze losowania tak, aby liczność pojedynczej podgrupy mieściła się w przedstawionych wcześniej granicach, a jednocześnie aby ilość podgrup nie była zbyt duża. Podgrupy wchodzące w skład jednej grupy wykonują przelot po tej samej trasie.

Według aktualnie panujących poglądów, środki napadu powietrznego dla uzyskania maksymalnego zaskoczenia i uniknięcia rażenia ze strony systemu obrony przeciwlotniczej, przelot do rejonu ataku wykonują zwykle na małych wysokościach z maksymalną w danych warunkach prędkością. Atak na obiekt wykonywany jest według różnych wariantów tak-

x/ Zgodnie z zasadami stosowanymi w NATO przyjmuje się, że dla obezwładnienia obiektu trzeba zadać straty na poziomie minimum 30%, natomiast dla zniszczenia poziom strat musi być wyższy niż 70%.

ycznych, lecz zawsze z maksymalnej możliwej odległości. Ze względów nawigacyjnych oraz organizacyjnych^{x/} przelot odbywa się po zaplanowanej zawczasu trasie. Z tych samych powodów powrót odbywa się zwykle po trasie zbliżonej.

W modelu trasy przelotu poszczególnych grup^{xx/} opisuje się przy pomocy trzech charakterystycznych punktów:

1/ pierwszy punkt - $/x^{\phi}, y^{\phi}/$, zwany dalej punktem początkowym, położony jest na odcinku znajdującym się w rejonie zbiórki i formowania nalotu. Odcinek ten oddalony jest od linii styczności bojowej walczących wojsk na odległość większą niż maksymalny zasięg rażenia środków obrony przeciwlotniczej;

2/ drugi punkt - $/x^P, y^P/$, zwany dalej punktem pośrednim lub punktem zmiany kursu, leży na odcinku odwzorowującym rubież w pasie przełamania systemu obrony przeciwlotniczej przez środki napadu powietrznego;

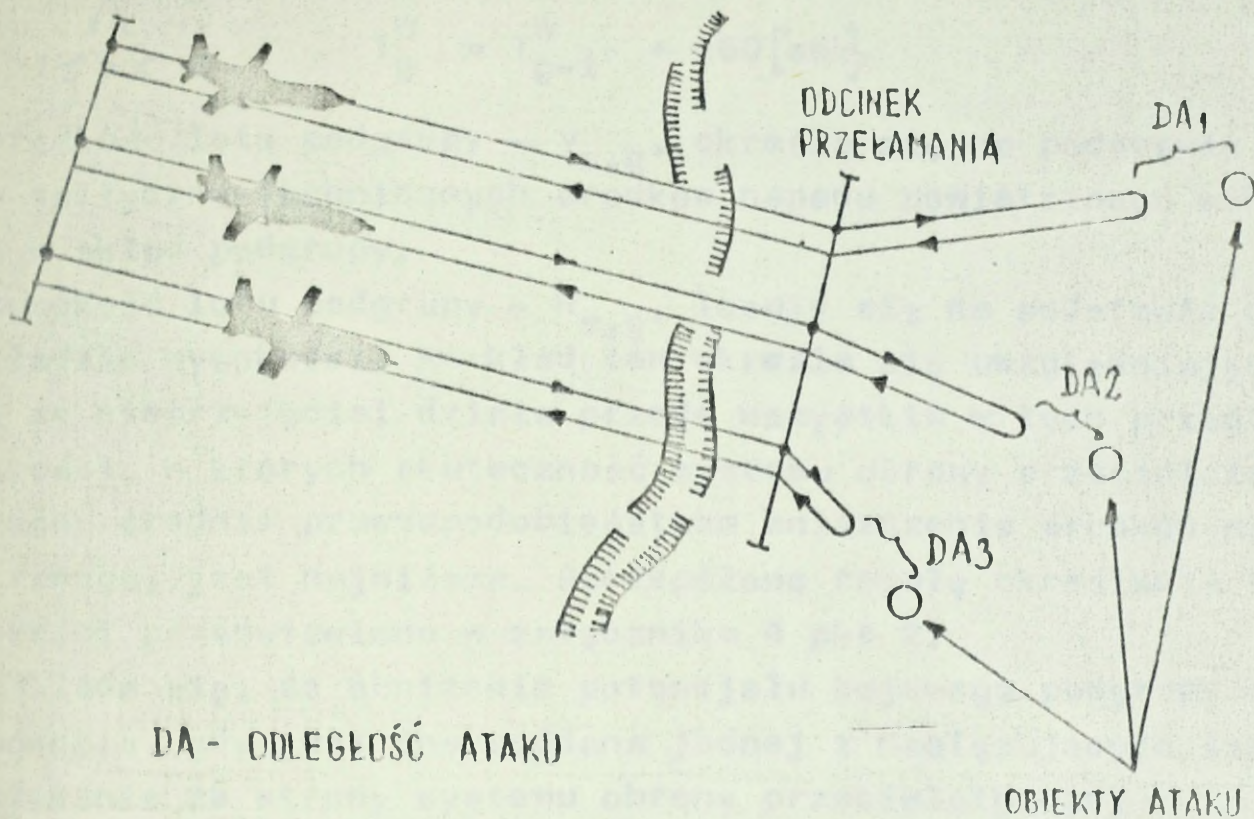
3/ trzeci punkt - $/x^A, y^A/$, zwany dalej punktem ataku, jest związany z obiektem ataku i leży na rubieży wykonywania ataku. Punkt ten położony jest na odcinku łączącym punkt pośredni z obiektem będącym celem ataku /dalej zwanym obiektem ataku/, w odległości od obiektu ataku odpowiadającej odległości rubieży ataku od obiektu ataku.

Podgrupy realizujące zadanie osłony przed atakami lotnictwa myśliwskiego działają na trasach zbliżonych do tras osłanianych grup uderzeniowych.

x/ W nalotach zmasowanych oraz ześrodkowanych działa jednocześnie duża ilość środków napadu powietrznego. Dlatego też poszczególne grupy i podgrupy nie poruszają się dowolnie, lecz według zawczasu przygotowanego planu po zadanych trasach i w określonych rejonach przelotu. Oznacza to m.in., że mimo różnego rodzaju manewrów wykonywanych podczas lotu /działania demonstracyjne i pozorujące, manewry antyradiolokacyjne i antyrakietowe itd./, środki napadu powietrznego nie zbaczą zbytnio z zaplanowanej trasy przelotu.

xx/ W istocie rzeczy chodzi tutaj o rzut trasy na płaszczyznę poziomą. Przekrój pionowy, czyli wysokość lotu jest parametrem dodatkowym.

ODCINEK ZBIÓRKI



Rys. II.1.3.

Środki napadu powietrznego wchodzące w skład jednej podgrupy poruszają się z jednakową prędkością - $V_{s,g}$, na stałej, określonej dla tej podgrupy wysokości - $H_{s,g}$. Przelot do rejonu ataku i powrót odbywa się po tej samej trasie. W rejonie ataku środki napadu powietrznego przebywają przez okres czasu potrzebny na wykonanie ataku - $\Delta T_{s,g}^A$. Wylot z odcinka zbiórki pierwszej podgrupy następuje w momencie czasu - $T_{s,1}^W$, wylosowanym z przedziału zależnego od rodzaju wykonywanego zadania, zgodnie z regułą:

a/ dla podgrup obezwładniających podsystem rozpoznania:

$$T_{s,1}^W \in /0,60/ \quad [\text{sek}] ;$$

b/ dla podgrup realizujących zadanie osłony przed lotnictwem wrogiem:

$$T_{s,1}^W \in /0,480/ \quad [\text{sek}] ;$$

c/ dla podgrup obezwładniających pododdziały ogniowej obrony przeciwlotniczej:

$$T_{s,1}^W \in /60,180/ \quad [\text{sek}] ;$$

d/ dla podgrup uderzających na wojska i obiekty:

$$T_{s,1}^W \in /120,480/ \quad [\text{sek}] .$$

Kolejne podgrupy z danej grupy wyruszają w regularnych odstępach czasu co 60 sekund

$$\bigwedge_{1 \leq s \leq S} T_g^W = T_{g-1}^W + 60 [\text{sek}].$$

Prędkość lotu podgrupy - $V_{s,g}$, określa się na podstawie parametrów taktyczno-technicznych środków napadu powietrznego wchodzących w skład podgrupy.

Wysokość lotu podgrupy - $H_{s,g}$, losuje się na podstawie danych o rozkładzie wysokości. Rozkład ten określa się uwzględniając założenie, że nieprzyjaciel działa przede wszystkim w tych przedziałach wysokości, w których skuteczność systemu obrony przeciwlotniczej, mierzona średnim prawdopodobieństwem zniszczenia środków napadu powietrznego, jest najniższa. Szczegółową regułę określania rozkładu wysokości przedstawiono w załączniku 4 pkt 2.

Zakłada się, że obniżenie potencjału bojowego podgrupy następuje wówczas, gdy jest ona poddana jednej z następujących form oddziaływania ze strony systemu obrony przeciwlotniczej:

- wiązanie walkę bezpośrednio przed wyjściem na rubież ataku oraz podczas przebywania w rejonie ataku;
- oddziaływanie powodujące obniżenie potencjalnych możliwości bojowych np. ostrzeliwanie rakietami przeciwlotniczymi średniego i małego zasięgu, walka powietrzna itp.;
- zestrzelenie środka napadu powietrznego.

Przyjmuje się przy tym, że dwie pierwsze formy oddziaływania systemu obrony przeciwlotniczej nie powodują zaprzestania wykonywania założonych działań bojowych przez podgrupę.

Szczególnym rodzajem środków napadu powietrznego są śmigłowce uzbrojone /bojowe/ nieprzyjaciela. Zakłada się, że ze względu na różne sposoby działania można wyróżnić dwa rodzaje śmigłowców bojowych:

- śmigłowce przeciwpancerne;
- śmigłowce szturmowe.

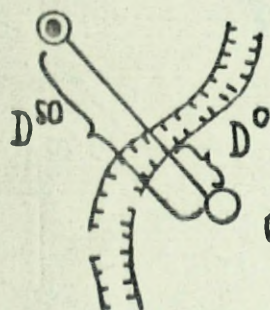
Śmigłowce przeciwpancerne

Śmigłowce przeciwpancerne wychodzą do ataku oraz atakują wojska i obiekty z rejonów położonych przed linią styczności bojowej walczących wojsk. Celami ataku są w związku z tym obiekty położone blisko linii styczności.

Atak śmigłowców przeciwpancernych przebiega w ten sposób, że grupa śmigłowców^{x/} atakująca wybrany obiekt^{xx/} wychodzi w rejon stanowiska ogniowego położonego przed linią styczności możliwie najbliżej wybranego obiektu i stamtąd z krótkich zawieszów w powietrzu atakuje kilkakrotnie obiekt. Maksymalna ilość wyjść do ataku w stosunku do jednego obiektu wynosi 6. Kolejne wyjścia do ataku następują co 10-15 sekund.

SO - STANOWISKO
OGNIOWE

LINIA STYCZNOŚCI



OBIEKT ATAKU

$$D^O + D_{\min}^{SO} \leq D^{SO} \leq D^O + D_{\max}^{SO}$$

$$D^O \leq D_{\min}^O$$

Rys. II.1.4.

Schemat rozmieszczenia obiektu ataku oraz stanowiska ogniowego grupy śmigłowców przeciwpancernych względem linii styczności bojowej wojsk.

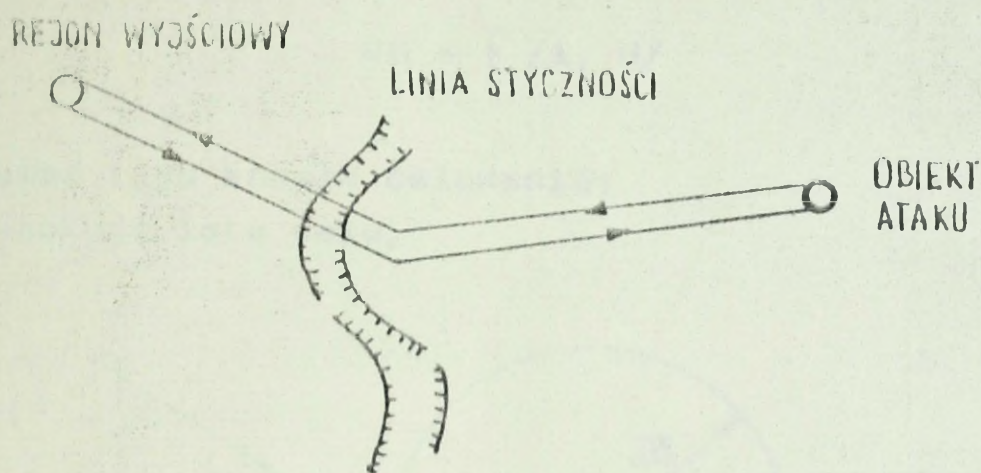
Śmigłowce szturmowe

Śmigłowce szturmowe atakują wojska i obiekty położone w głębi ugrupowania, w trakcie działań bojowych przekraczają linię styczności bojowej wojsk i działać mogą w pewnej odległości od tej linii.

Atak grupy śmigłowców szturmowych atakujących wybrany obiekt^{xxx/}

- x/ Przy określaniu licznosci i składu grupy śmigłowców stosuje się ogólną regułę przedstawioną przy doborze grupy środków napadu powietrznego. Oznacza to, że wybiera się te typy śmigłowców, które mają najwyższe potencjalne możliwości bojowe przy atakowaniu założonego rodzaju obiektów, w takiej ilości aby sumaryczny potencjał bojowy grupy pozwalał odpowiednio na obezwładnienie lub zniszczenie obiektu.
- xx/ Wybór obiektów ataku dla śmigłowców także odbywa się zgodnie z ogólnymi regułami przedstawionymi przy wyborze obiektów ataku dla środków napadu powietrznego. Metodę tę polega na losowaniu obiektu z założonej listy potencjalnych obiektów ataku z prawdopodobieństwem proporcjonalnym do przyjętej wagi operacyjnej obiektu. Przyjmuje się, że obiekty, których waga operacyjna jest mniejsza niż 8 są wybierane do obezwładnienia, natomiast obiekty których waga operacyjna jest równa 8, lub większa niż 8 wybiera się do zniszczenia.
- xxx/ Wybór obiektu oraz określenie składu i licznosci grupy śmigłowców szturmowych odbywa się zgodnie z tą samą regułą co w przypadku śmigłowców przeciwpancernych.

bywa się w ten sposób, że: grupa rozpoczyna przelot z rejonu wyjściowego położonego przed linią styczności wojsk; przekracza tę linię ten sposób, aby czas przejścia był możliwie najkrótszy; wykonuje przelot do rejonu ataku z prędkością wynikającą z parametrów taktyczno-technicznych; wykonuje atak i tą samą trasą wraca do rejonu wyjściowego.



Rys. II.1.5.

1.2. Podsystem ognia obrony przeciwlotniczej

Podsystem ognia stanowi bardzo ważny element systemu obrony przeciwlotniczej. Jako podsystem rażenia, obok lotnictwa myśliwskiego w zasadniczym stopniu wpływa na potencjalne możliwości bojowe systemu. Podsystem ognia tworzy zorganizowany według jednolitego zamiaru kierowany ogień związków taktycznych oraz oddziałów rakiet i artylerii przeciwlotniczej powiązany z działaniami lotnictwa myśliwskiego i uzupełniony zorganizowanym ogniem broni strzeleckiej i pokładowej czołgów, transporterów opancerzonych i bojowych wozów piechoty. Jest on przeznaczony do niszczenia nieprzyjaciela powietrznego na różnych wysokościach i z dowolnych kierunków, na podejściach do osłabianych wojsk /obiektów/ oraz nad ich ugrupowaniem.

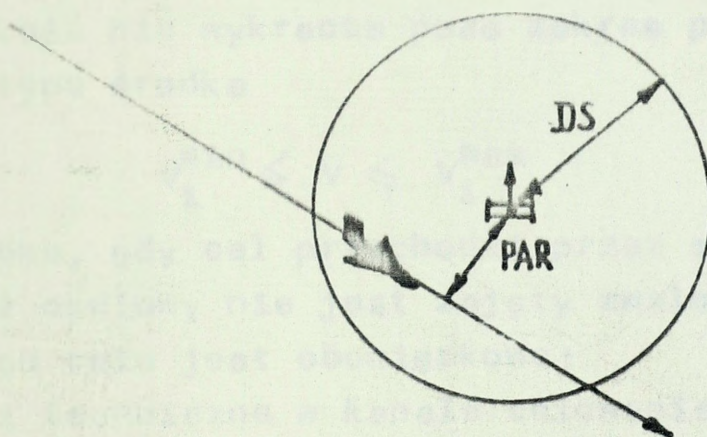
W modelu uwzględnia się przede wszystkim naziemne środki ogniowe wchodzące organicznie w skład frontowych, armijnych, dywizyjnych, pułkowych pododdziałów, oddziałów i związków taktycznych obrony przeciwlotniczej, oraz pododdziały i oddziały ogniowe OPK współdziałające z systemem obrony przeciwlotniczej. Analizowane są jedynie najistotniejsze zjawiska związane z przyjmowaniem decyzji /wskazania/ do zwalczania celów powietrznych, wykrywaniem i śledzeniem celów oraz prowadzeniem ognia przez pododdziały ogniowe. Pod uwagę bierze się tylko te parametry, które mają wyraźny i znaczący wpływ na przebieg zasygnalizowanych zjawisk.

Najmniejszą, podstawową jednostką organizacyjną w podsystemie ognia jest pododdział ogniowy zwany kanałem celowania^{x/}. Przyjmuje się, że zwalczać można tylko te cele, które znajdują się w strefie ognia danego pododdziału ogniowego. Zakłada się przy tym, że strefa ognia pojedynczego kanału celowania jest w rzucie poziomym kołem o promieniu DS równym parametrowi granicznemu na danej wysokości:

$$DS = f / 1, H/$$

gdzie:

- 1 - numer typu kanału celowania;
- H - wysokość lotu celu.



Rys. II.2.1.

Zwalczanie celów możliwe jest tylko wówczas, gdy spełnione są następujące warunki:

a/ cel jest wykryty i śledzony przez pododdział ogniowy. Uwzględnia się przy tym wpływ zakłóceń stosowanych przez nieprzyjaciela na

b/ Kanałem celowania nazywa się tutaj najmniejszy z występujących w przyjętej organizacji wojsk obrony przeciwlotniczej kalkulacyjny pododdział ogniowy będący w stanie samodzielnie prowadzić zwalczanie celu. W modelu i wytworzonym na jego podstawie systemie oprogramowania symulacyjnego na EMC uwzględnia się następujące kanały celowania:

- 1/ dywizjon ogniowy WOŁCHOW;
- 2/ dywizjon ogniowy NEWA;
- 3/ bateria ogniowa KRUG;
- 4/ bateria ogniowa KUB;
- 5/ wóz bojowy OSA;
- 6/ wóz bojowy S-1;
- 7/ 2 strzelców z zestawami STRZAŁA-2;
- 8/ bateria artylerii S-60;
- 9/ działo ZSU-23-4;
- 10/ 3 działa ZU-23-2.

wykrywanie celów oraz fakt, że prawdopodobieństwo wykrycia celu zwiększa się wówczas, gdy cel jest wskazany do zwalczania lub informacja o celu z sieci powiadomienia, wskazywania lub ostrzegania dociera do kanału celowania przed przekroczeniem przez ŚNP rubieży ostatecznego postawienia zezwolenia.

$$P^{BW} < P^{ZW} \quad ;$$

b/ cel znajduje się w strefie rażenia kanału celowania:

$$PAR < DS \quad /1, H/ \quad /jak \ na \ rys. \ II.2.1/$$

$$H_1^{min} \leq H \leq H_1^{max} \quad .$$

a jego prędkość nie wykracza poza zakres prędkości dopuszczalnych dla danego typu środka

$$v_1^{min} \leq v \leq v_1^{max}$$

W przypadku, gdy cel przechodzi przez sektor odpowiedzialności a pododdział ogniowy nie jest zajęty zwalczaniem innego celu, zwalczanie danego celu jest obowiązkowe:

c/ środki techniczne w kanale celowania są sprawne, na stanowiskach ogniowych znajdują się odpowiednio przygotowane rakiety /amunicja/, oraz osiągnięto wymagany stopień gotowości bojowej. W modelu sprawdzenie tego rodzaju warunków możliwe jest dzięki ewidencjonowaniu zużycia rakiet /amunicji/, oraz oddziaływania nieprzyjaciela powietrznego na poszczególne pododdziały ogniowe;

d/ kanał celowania nie jest zajęty ostrzeliwaniem innego celu i od zakończenia poprzedniego cyklu strzelania lub od momentu osiągnięcia gotowości bojowej upłynął czas ΔT , nie mniejszy niż czas potrzebny na przeniesienie ognia - ΔT_1^G

$$\Delta T \geq \Delta T_1^G \quad .$$

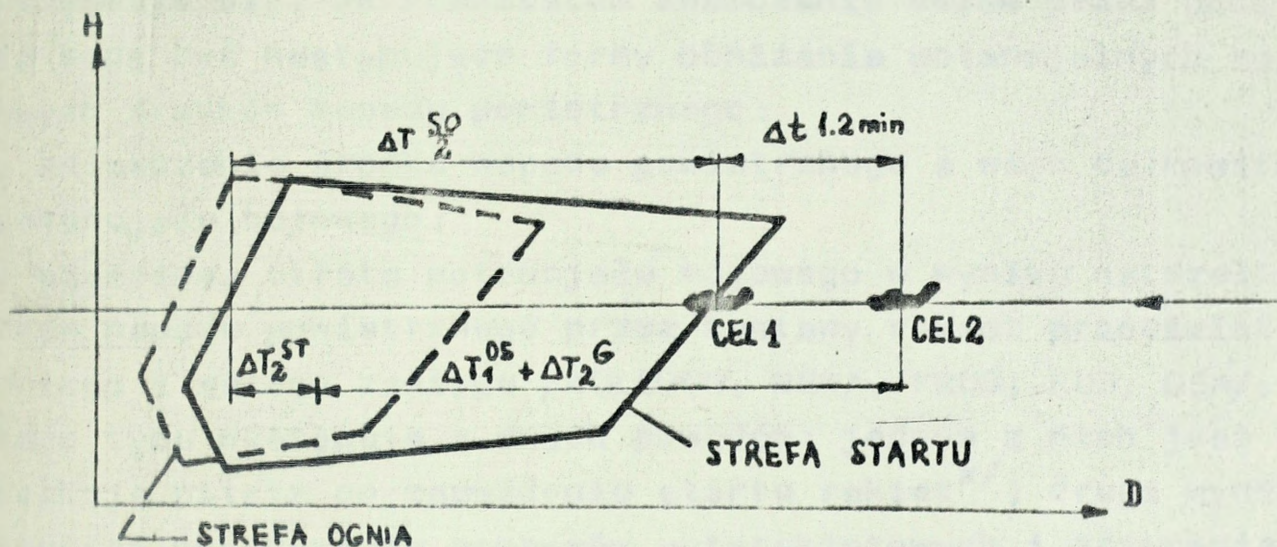
Konieczność spełnienia takiego warunku nie oznacza wcale, że dla ostrzelenia kolejnych celów konieczne jest spełnienie warunku, aby odstęp czasu $\Delta t_{1,2}$ między dwoma kolejnymi celami był nie mniejszy niż ΔT_1^G . W przypadku rakiet przeciwlotniczych uwzględniając głębokość strefy ognia można bowiem zauważyć /rys. II.2.2./, że przeniesienie ognia na drugi cel jest możliwe wówczas, gdy zachodzi warunek

$$\Delta t_{1,2} \geq \Delta t_{1,2 \min} = (\Delta T_1^{OS} + \Delta T_2^G + \Delta T_2^{ST}) - \Delta T_2^{SO}$$

gdzie: ΔT_1^{OS} - czas ostrzeliwania 1-go celu;

ΔT_2^{ST} - odstęp czasu między startem kolejnych rakiet;

ΔT_2^{SO} - czas przebywania 2-go celu w strefie startu.



Rys. II.2.2.

Po naszkicowaniu podobnego schematu dla trzech kolejnych celów zauważyć można, że warunek przeniesienia ognia na trzeci cel tj. dwukrotnego przeniesienia ognia ma postać

$$\Delta t_{2,3} \geq \Delta t_{2,3 \min} = (\Delta T_1^C + \Delta T_2^C + \Delta T_3^{ST}) - (\Delta T_3^{SO} + \Delta t_{1,2})$$

gdzie: ΔT^C - czas cyklu strzelania:

$$\Delta T^C = \Delta T^{OS} + \Delta T^G$$

e/ odstęp czasu między wykryciem celu a rozpoczęciem ostrzeliwania umożliwia postawienie zadań ogniowych i uchwycenie celu. Z tego warunku wynika ograniczenie dotyczące wskazywania celów do zwalczania przez przełożonych. Decyzja może być przyjęta tylko pod warunkiem, że przed momentem jej przyjęcia cel nie przekroczy rubieży ostatecznego postawienia zadania.

f/ cel został przydzielony do zwalczania danemu kanałowi celowania /przed rubieżą ostatecznego postawienia zadania/, lub kanał celowania nie ma informacji o tym, że cel został przydzielony do zwalczania innemu kanałowi celowania, a zwalczenie celu nie koliduje ze

zwalczaniem celów wcześniej wskazanych do zwalczania lub znajdujących się w sektorze odpowiedzialności. Aby móc badać tego typu warunki, w modelu symuluje się przebieg procesów informacyjno-decyzyjnych m.in. określa się moment wykrycia celu a następnie moment dotarcia informacji do ogniw decyzyjnego /PłSD, SD, PD/, oraz odwzorowuje się proces podejmowania i przekazywania decyzji /z uwzględnieniem opóźnień czasowych/.

Przyjmuje się, że rezultatem zwalczania celów przez podsystem ognia mogą być następujące formy obniżania potencjalnych możliwości bojowych środków napadu powietrznego:

- zniszczenie środka napadu powietrznego a więc całkowita utrata potencjału bojowego;
- częściowa utrata potencjału bojowego w wyniku ostrzeliwania środków napadu powietrznego przez zestawy rakiet przeciwlotniczych średniego i małego zasięgu /WOŁCHOW, NEWA, KRUG, KUB, OSA/. Zjawisko tego typu występuje z dwóch powodów: jednym z nich jest psychiczna reakcja pilota po zauważeniu startu rakiet^{x/}, drugi wynika z konieczności wykonywania manewrów antyrakietowych i zrzucenia przynajmniej części przenoszonego uzbrojenia /ładunku/, oraz z konieczności wykonywania ataków z większej odległości, a co za tym idzie zmniejszenia ich precyzji^{xx/}.

Dla osiągnięcia maksymalnej adekwatności modelu oceny skuteczności strzelania, uwzględnia się przy modelowaniu przebiegu procesu zwalczania wpływ takich czynników jak:

- parametr kursowy celu względem kanału celowania. Podczas ostrzeliwania celów lecących na dużym parametrze prawdopodobieństwo zniszczenia jest niższe niż przy ostrzeliwaniu celów lecących na małym parametrze;
- wpływ zakłóceń na skuteczność procesu wykrywania i ostrzeliwania celów;-----

x/ Stwierdzono w różnych źródłach, że sama świadomość istnienia systemu OPL wywołuje u pilotów znaczne zmniejszenie precyzji działania np. średni błąd kołowy wzrasta 2-5 krotnie. Podczas działań bojowych na Bliskim Wschodzie w 1973 r. stwierdzono przypadki, że po zauważeniu startu rakiet niektórzy piloci się katapultowali, podobne reakcje występowały wówczas gdy zestrzelivano jeden z samolotów z pary, pilot drugiego samolotu zwykle się katapultował.

xx/ Wg poglądów zachodnich /Flugwehr und Technik 5/71 str. 138/ zwiększenie odległości ataku o połowę zmniejsza dwukrotnie prawdopodobieństwo rażenia.

- wpływ manewrów wykonywanych przez cele na prawdopodobieństwo ich zniszczenia.

Szczegółowy opis modelu podsystemu ognia, ze względu na inny cel rozprawy, nie będzie tutaj przedstawiany. W tym miejscu warto jeszcze zaznaczyć, że położenie oraz działanie pojedynczego kanału celowania charakteryzują w modelu następujące parametry:

- X^{KC}, Y^{KC} - współrzędne dyslokacji pododdziału ogniowego;
- $PAR^{GRAN}/H/$ - parametr graniczny w funkcji wysokości;
- SEO - rozwartość sektora odpowiedzialności;
- A^{SEO} - azymut na środek sektora odpowiedzialności;
- P^{BW} - prawdopodobieństwo wykrycia celu przy samodzielnym poszukiwaniu /poza sektorem odpowiedzialności/;
- P^{ZW} - prawdopodobieństwo wykrycia celu uprzednio wskazanego /w sieci powiadomiania lub dowodzenia/ lub przechodzącego przez sektor odpowiedzialności;
- Z^N - współczynnik niezawodności systemu wykrywania i kierowania ogniem;
- ΔT^G - czas przeniesienia ognia;
- $STAN$ - stan gotowości bojowej;
- ΔT^{PZAD} - czas przyjęcia zadania, lub tzw. odległość czasowa /czyli mierzona czasem lotu celu/ rubieży ostatecznego postawienia zadania od dalszej granicy strefy startu /ostrzeliwania/;
- $P^{ZN}/H, V/$ - prawdopodobieństwo rażenia celu pojedynczą rakieta /pociągiem/ w funkcji wysokości /H/ i prędkości /V/ lotu celu;
- Z^M - współczynnik wpływu manewru celu na skuteczność jego zwalczania przez kanał celowania;
- Z^Z - współczynnik wpływu zakłóceń radioelektronicznych na skuteczność zwalczania celu przez kanał celowania;
- Z^A - współczynnik wpływu zakłóceń termicznych, oraz warunków atmosferycznych na skuteczność zwalczania celu;
- $PROC$ - współczynnik utraty potencjału bojowego środka napadu powietrznego w wyniku oddziaływania ogniowego danego typu kanału celowania;
- $SZSL$ - rozwartość strefy zakazu startu /ostrzału/ ze względu na słońce /dotyczy głównie środków ogniowych typu S-1, S-2/;

- szybkostrzelność praktyczna /strz/sek/ kanału celowania - dotyczy pododdziałów artylerii przeciwlotniczej;
- L_{SR} - średnia ilość rakiet zużywana na ostrzelanie pojedynczego celu przez kanał celowania - dotyczy pododdziałów rakiet przeciwlotniczych.

W odniesieniu do zwalczania śmigłowców uzbrojonych nieprzyjacielem to ponadto następujące parametry:

$SPP/D,H/$ - prawdopodobieństwo wykrycia i ostrzelania śmigłowca przeciwpancernego przez kanał celowania, w funkcji odległości od celu - D , oraz wysokości lotu celu - H ;

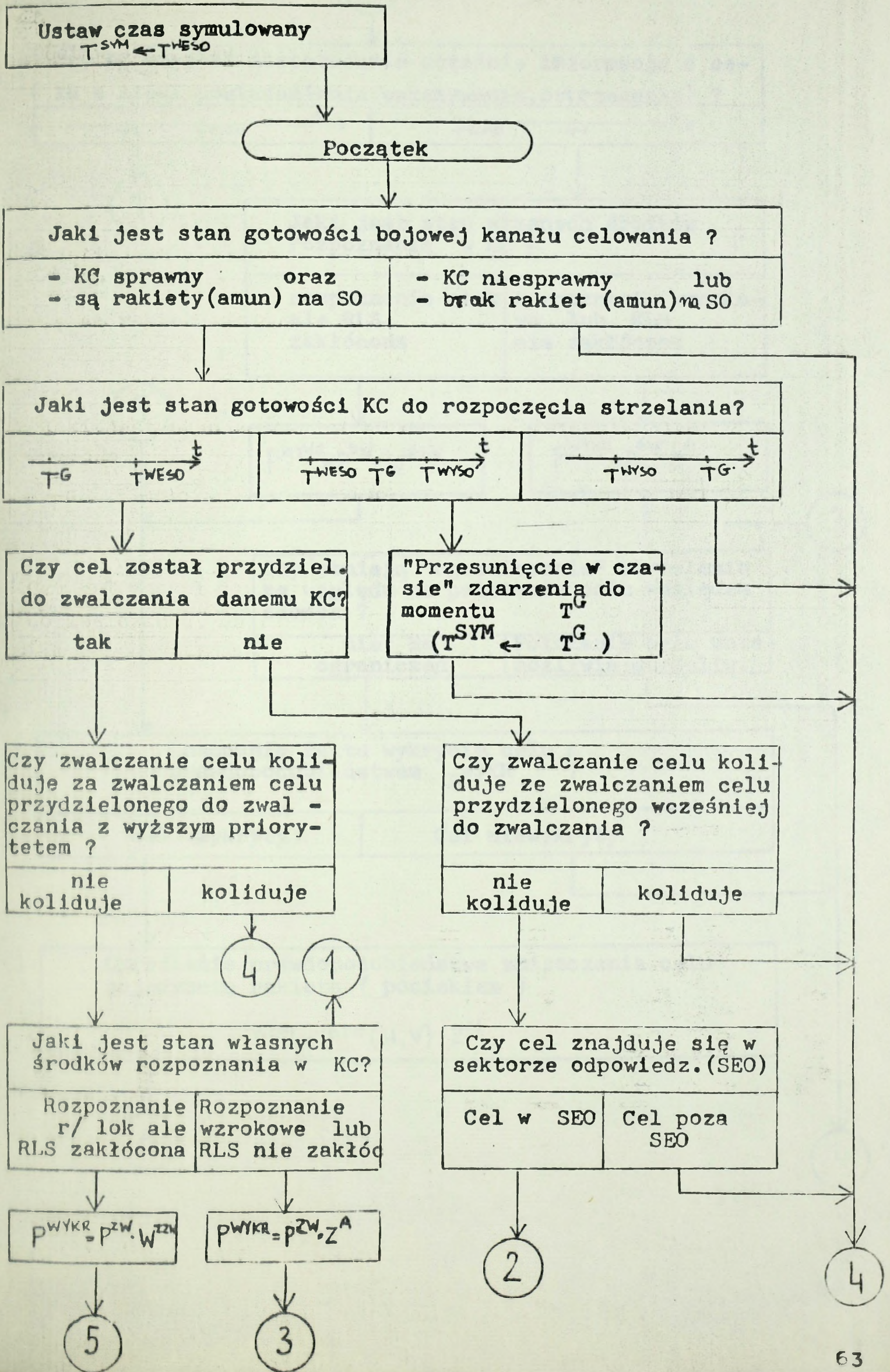
$SSz/D,H/$ - prawdopodobieństwo wykrycia i ostrzelania śmigłowca szturmowego przez kanał celowania, w funkcji odległości od celu - D , oraz wysokości lotu celu;

$SPP/D,H/$ - prawdopodobieństwo zniszczenia śmigłowca przeciwpancernego przez kanał celowania, w funkcji odległości od celu - D , oraz wysokości lotu celu - H ;

$SSz/D,H/$ - prawdopodobieństwo zniszczenia śmigłowca szturmowego przez kanał celowania, w funkcji odległości od celu - D , oraz wysokości lotu celu - H .

Miejsce zajmowane przez kanał celowania w strukturze organizacyjnej a więc m.in. informacje o tym jakiemu SD /PD/ podlega pododdział ogniowy opisuje tzw. kod grupy strukturalnej. W oparciu o znajomość kodów grup strukturalnych ocenia się związki funkcyjne między poszczególnymi PłSD /SD, PD/ i kanałami celowania oraz określa się czas przetwarzania i przekazywania informacji w sieciach wiadomości i wskazywania celów.

Funkcjonowanie kanałów celowania podczas ostrzeliwania celów przy wejściu w strefę ognia/, w sposób przyjęty w modelu przedstawia w ogólnym zarysie następujący algorytm:



2

Czy KC uzyskał dostatecznie wcześniej informację o celu z sieci powiadamiania (wskazywania, ostrzegania) ?

t_1 t_{PZAD} t t_{PZAD} t_1 t

1

Jaki jest stan własnych środków rozpoznania w KC ?

rozpoznanie rlokale RLS zakłócona	rozpoznanie wzrokowe lub RLS nie zakłócona
-----------------------------------	--

$$P_{WYKR} = P^{BW} \cdot W^{ZBW}$$

$$P_{WYKR} = P^{BW} \cdot Z^A$$

5

Czy istnieją "ograniczenia" strzelania ze względu na położenie celu względem słońca ?

nie ma ograniczeń	Położenie celu uniemożliwia ostrzeliw.
-------------------	--

3

Losowanie faktu wykrycia celu z prawdopodobieństwem P_{WYKR} ?

cel wykryty	Cel niewykryty
-------------	----------------

Określanie prawdopodobieństwa zniszczenia celu pojedynczą rakietą (pociskiem)

$$P_{ZNI} = P_{ZN}(H, V) \cdot Z^M$$

6

4

6

Jaki jest stan systemu kierowania ogniem kanału celowania?

system kierowania zakłócony	brak zakłóceń
-----------------------------	---------------

$$P^{ZNI} = P^{ZNI} \cdot Z^Z \cdot Z^A$$

Jaki jest parametr kursowy względem KC - PAR ?

$PAR \geq \frac{1,57}{2} \cdot PAR^{GRAN(H)}$	$PAR < \frac{1,57}{2} \cdot PAR^{GRAN(H)}$
---	--

$$P^{ZNI} = P^{ZNI} \cdot \left(1 - \frac{PAR}{PAR^{GRAN(H)}}\right)$$

Określenie maksymalnej ilości rakiet (amunicji) wystrzeliwanych do celu?

$SAL = SAL^{SR}$	$SAL = SY \cdot (T^{WYSO} - T^{SYM})$
------------------	---------------------------------------

Określenie prawdopodobieństwa zniszczenia celu w cyklu strzelania?

$$P^{ZNI} = 1 - (1 - P^{ZNI})^{SAL}$$

Losowanie faktu zniszczenia celu z prawdopodobieństwem PZNI

cel zniszczony	cel nie zniszczony ale traci część potencjału bojowego	brak efektów strzelania
----------------	--	-------------------------

7

8

4

PZAD - moment przekroczenia przez cel rubieży ostatecznego postawienia zadania dla kanału celowania.

w przypadku gdy podsystem ognia obrony przeciwlotniczej bierze udział w odpiernaniu uderzenia śmigłowców uzbrojonych, funkcjonowanie pododdziałów ogniowych jest nieco inne i algorytm procesu zwalczania celów powietrznych ma w takim przypadku odmienną postać. Podstawowe różnice polegają przede wszystkim na tym, że:

a/ podczas zwalczania uderzeń śmigłowców uzbrojonych nie bierze się pod uwagę informacji o środkach napadu powietrznego z sieci powiadamiania i wskazywania celów. Wynika to m.in. z faktu, że śmigłowce uzbrojone działają na małych i bardzo małych wysokościach i w związku z tym, uwzględniając dodatkowo łatwość z jaką mogą one wykorzystywać ukrycie terenowe, wykrywanie i śledzenie ich przez stacje radiolokacyjne jest bardzo utrudnione. Ponadto, biorąc pod uwagę fakt krótkiego przebywania w strefie działania środków obrony przeciwlotniczej, oraz działanie na niedużych odległościach od linii styczności łatwo zauważyć, że informacja z sieci powiadamiania i wskazywania celów, nawet gdyby cele zostały wykryte przez RLS powołanego systemu rozpoznania, dociera do pododdziałów ogniowych zbyt późno na to aby mogła być użyteczna w procesie strzelania;

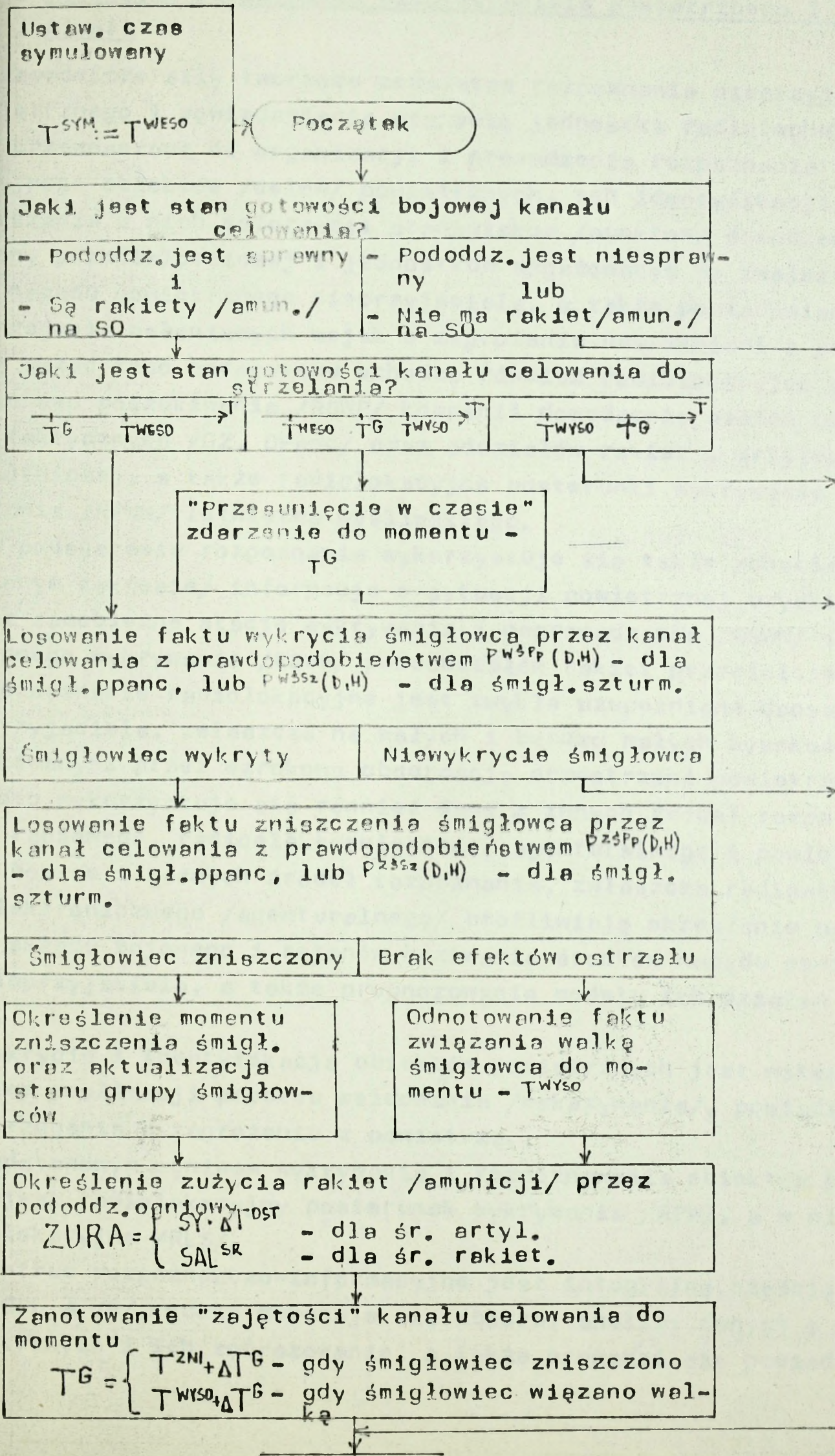
b/ wychodząc z przesłanek tych samych co w ppkt. a/ rozpatruje się jedynie całkowicie autonomiczne /w pełni zdecentralizowane/ działania poszczególnych kanałów celowania;

c/ modelując oddziaływanie podsystemu ognia na śmigłowce uzbrojone nieprzyjaciela pod uwagę bierze się dwie podstawowe formy skutecznego oddziaływania i obniżania potencjalnych możliwości bojowych śmigłowców:

- zniszczenie śmigłowca;
- związanie walką śmigłowca podczas wykonywania ataku na obiekt i uniemożliwienie mu w ten sposób realizacji potencjalnych możliwości bojowych.

Działanie pododdziałów ogniowych podczas zwalczania śmigłowców uzbrojonych /przy wejściu śmigłowców w strefę ognia/, w sposób przyjęty w modelu, przedstawia w ogólnym zarysie następujący algorytm:

MODEL DZIAŁANIA PODODZIAŁÓW OGNIOWYCH PODCZAS
ZWALCZANIA ŚMIGŁOWCÓW



II.3. Podsystem rozpoznania nieprzyjaciela powietrznego i powiadamiania

Zasadnicze siły tworzące podsystem rozpoznania nieprzyjaciela powietrznego i powiadamiania stanowią jednostki radiotechniczne. Są one przeznaczone do organizacji i prowadzenia rozpoznania radiolokacyjnego obiektów /celów/ powietrznych, ich identyfikacji oraz dostarczania o nich informacji stanowiskom /punktom/ dowodzenia wojsk obrony przeciwlotniczej i jednostkom angażowanym do zwalczania środków napadu powietrznego nieprzyjaciela, a także powiadamiania i ostrzegania osłanianych wojsk o zagrożeniu uderzeniami z powietrza.

W skład tego podsystemu wchodzi również radiolokacyjne stacje wstępnego poszukiwania /RSWP/ kompanii dowodzenia szefów OPL związków taktycznych /DZ, DPanc/ oraz oddziałów rakiet i artylerii przeciwlotniczej, a także radiolokacyjne posterunki wykrywania i naprowadzania /RPWN/ lotnictwa myśliwskiego.

W podsystemie rozpoznania wykorzystuje się także /choć w ograniczonym zakresie/ informacje o sytuacji powietrznej uzyskiwane przez samobieżne stacje wykrywania i naprowadzania /SSWN/ i stacje wstępnego wykrywania /RSWW/ pododdziałów rakiet przeciwlotniczych.

Rozpoznanie radiolokacyjne jest zwykle uzupełniane danymi o ŚNP nieprzyjaciela, zwłaszcza na małych i bardzo małych wysokościach, uzyskiwanymi przez wzrokową obserwację przestrzeni powietrznej. Ponadto wykorzystuje się również dane z innych źródeł rozpoznania np. radiowego, radioelektronicznego, agenturalnego i powietrznego. Dane bowiem z różnych źródeł rozpoznania, zwłaszcza radiowego i radioelektronicznego /agenturalnego/ umożliwiają określenie ugrupowania, składu bojowego i rejonów bazowania środków napadu powietrznego nieprzyjaciela, a także prognozowanie modelu ich działań bojowych.

Wykrycie i identyfikacja obiektów powietrznych jest wstępnym warunkiem realizacji procesu meldowania /wskazywania/, powiadamiania i ostrzegania o zagrożeniu z powietrza.

Podstawowym ogniwem wykrywania i rozpoznawania obiektów powietrznych jest radiolokacyjny posterunek wykrywania /RPW/, a w nim stacje radiolokacyjne /RLS/.

Centrum rozpoznawczo-informacyjne jest integralną częścią PISD L i OPL A /F/, gdzie dokonuje się zbioru, analizy danych o celach powietrznych i ich zobrazowanie, a także prowadzi się powiadamianie

sytuacji powietrznej podległych i współdziałających ze związkiem peracyjnym stanowisk /punktów/ dowodzenia OPL i lotnictwa oraz innych zainteresowanych tą informacją elementów dowodzenia.

Ostrzeganie o zagrożeniu z powietrza stanowisk dowodzenia oddziałów /sztabów/ prowadzą punkty dowodzenia OPL związków taktycznych.

Wskazywanie celów powietrznych środkom OPL prowadzą RSWP szefów PL związków taktycznych i oddziałów rakiet /artylerii/ przeciwlotniczych. W tym celu przekazują one środkom OPL współrzędne wykrytych celów powietrznych /w układzie jednolitej siatki wskazywania celów/.

Uprzedzanie o przelotach własnego lotnictwa organizują i prowadzą stanowiska /punkty/ dowodzenia OPL na podstawie informacji trzymanej od ogniw służby ruchu lotniczego właściwych SD lotnictwa frontu.

Podstawowymi zadaniami realizowanymi przez podsystem rozpoznania są:

- prowadzenie ciągłej obserwacji przestrzeni powietrznej środkami rozpoznania radiolokacyjnego oraz przez posterunki obserwacji wzrokowej;

- terminowe wykrywanie, rozpoznawanie i ciągłe śledzenie obiektów /celów/ powietrznych;

- określanie współrzędnych i charakterystyk wykrytych celów powietrznych;

- uogólnianie informacji radiolokacyjnej oraz zobrazowywanie jej na stanowiskach dowodzenia i w jednostkach obrony przeciwlotniczej;

- przekazywanie opracowanej informacji o sytuacji powietrznej do nadrzędnego i współdziałających SD OPL;

- informowanie stanowisk dowodzenia OPL o sytuacji powietrznej w sąsiednich strefach obrony przeciwlotniczej;

- zapewnienie scentralizowanego dowodzenia głównymi siłami i środkami obrony przeciwlotniczej;

- zabezpieczenie współdziałania podstawowych środków radiotechnicznych wchodzących w skład podsystemu oraz wymiana informacji o sytuacji powietrznej z sąsiednimi systemami rozpoznania;

- powiadamianie wojsk o zagrożeniu z powietrza.

Ponadto podsystem rozpoznania a zwłaszcza jego RPW /RSWP/ mogą być wykorzystywane do naprowadzania samolotów myśliwskich na cele powietrzne, tworzone są wtedy posterunki naprowadzania i wykrywania celów /PNWC/.

Jak już wspomniano podstawowym elementem, a zarazem najważniejszym źródłem informacji w podsystemie są stacje radiolokacyjne RLS/. W modelu uwzględnia się jako źródła informacji następujące odzaje RLS:

- RLS z RPW A i F;
- RSWP kdir szefów OPL ZT;
- RSWP BRPlot i RSWW do;
- RSWP paplot;
- RSWP prplot KUB i SSWN baterii ogniowych;
- RSWP prplot OSA i RSWN PRWB.

Podstawowe źródła informacji, sposób ich wykorzystywania oraz strukturę organizacyjną podsystemu przedstawiono w załączniku 6. Symulować można działanie dowolnego typu RLS pod warunkiem przygotowania danych o podstawowych parametrach taktyczno-technicznych poszczególnych typów^{x/} RLS. Zakłada się znajomość miejsca zajmowanego przez poszczególne RLS:

- w sensie geograficznym określają je współrzędne dyslokacji RLS, Y_{RLS} ;

- w sensie organizacyjnym, pozycję w strukturze organizacyjnej pisuje tzw. kod grupy strukturalnej.

Wykrywane i śledzone mogą być te i tylko te cele, które znajdują się w strefie wykrywania stacji radiolokacyjnych. W modelu przyjęto, że strefa wykrywania jest kołem o promieniu DM

$$DM = f / R, H, \delta /$$

/ Aktualnie w modelu i w systemie obliczeniowym uwzględnia się następujące typy stacji radiolokacyjnych

- 1 - P-12
- 2 - P-15M
- 3 - JAWOR-M
- 4 - JAWOR-M2
- 5 - P-40
- 6 - P-18
- 7 - P-19
- 8 - NUR-21
- 9 - PRW-9
- 10 - PRW-16
- 11 - NIDA
- 12 - RSWW KRUG /1S11M/
- 13 - ZRP-1
- 14 - ZRP-2
- 15 - SSWN KUB /1S31/
- 16 - RSWN OSA /1S32/

gdzie:

R - kod typu RLS;

H - wysokość lotu celu;

δ - skuteczna powierzchnia odbicia celu.

Dla określania możliwości wykrywania i śledzenia celu przez stacje radiolokacyjne, w modelu pod uwagę bierze się następujące parametry poszczególnych RLS:

x^{RLS}, y^{RLS} - współrzędne geograficzne;

DM /H/ - zasięg wykrywania przez RLS celu o skutecznej powierzchni odbicia 1 m^2 w funkcji wysokości lotu celu;

Z^{CZ} - zakres częstotliwości pracy;

DM^{0,5} - średni zasięg wykrywania celów o skutecznej powierzchni odbicia 1 m^2 z prawdopodobieństwem wykrycia 0,5;

C^α - współczynnik aproksymacji charakterystyki kierunkowej RLS;

C^G - zysk kierunkowy anteny RLS;

C^{KN} - współczynnik widzialności RLS w zakłóceniach;

C^π - moc RLS w impulsie;

C^q - szerokość charakterystyki anteny;

C^ψ - stosunek poziomu szumu odbiornika do maksymalnego współczynnika wzmocnienia systemu antenowego;

$/A^{RLS}/H//^2$ - współczynnik "zasięgowy" RLS w funkcji wysokości;

ΔT^I - czas trwania impulsu.

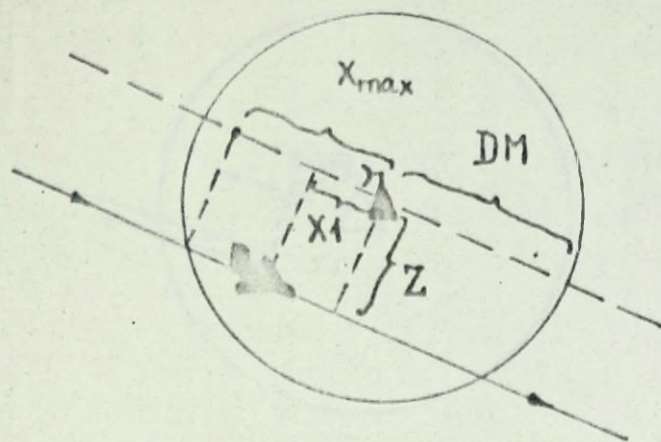
Wykrywanie i śledzenie celów ma charakter probabilistyczny, dlatego też badanie i modelowanie tych procesów oparte jest na rachunku prawdopodobieństwa i teorii procesów stochastycznych.

Podstawowy wzór opisujący dystrybuantę rozkładu prawdopodobieństwa wykrycia celu przechodzącego przez strefę wykrywania RLS ma następującą postać^{x/}:

$$P /X_1/ = 1 - \exp / - \int_{X_{max}}^{X_1} \frac{DM - \sqrt{H^2 + Z^2 + X^2}}{/a/^2} dx /$$

gdzie znaczenie poszczególnych symboli przedstawia schemat:

x/ Wzór ten można spotkać w wielu opracowaniach np. CZUJEW, MIELNIKOW, PIETUCHOV, STIEPANOW, SZOR "Osnowy issledowanija operacii w wojennoj technike" Sowietskoje radio Moskwa 1965.

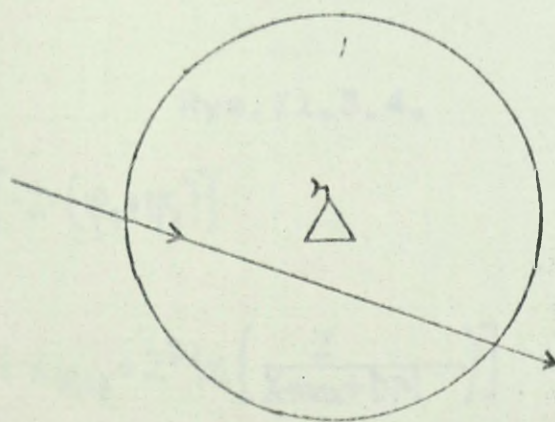


Rys. II.3.1.

- współczynnik empiryczny zależny od typu RLS, oraz prędkości lotu celu;
- parametr kursowy celu;
- M - promień strefy wykrywania;
- odległość od RLS do prostokątnego rzutu celu na prostą równoległą do trasy celu przechodzącą przez RLS;
- wysokość lotu celu.

Wykonując odpowiednie przekształcenia^{x/} powyższego wzoru uzyskuje się reguły pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństwa wykrycia celu przez stacje radiolokacyjne PW:

a/ w przypadku całkowitego przejścia celu przez strefę wykrywania RLS

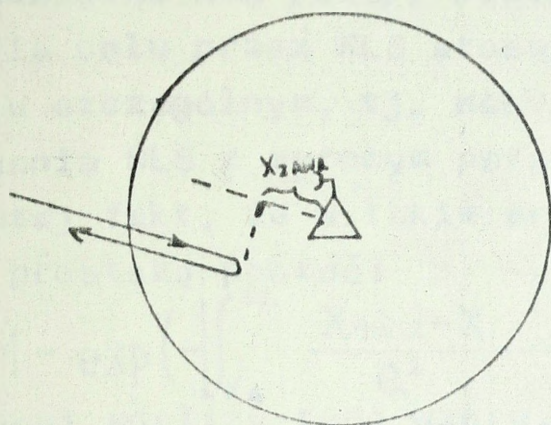


Rys. II.3.2.

$$PW = 1 - \exp \left\{ \frac{-1}{\alpha^2} \left[DM \cdot X_{max} + Z^2 \cdot \ln \left(\frac{Z}{X_{max} + DM} \right) \right] \right\}$$

x/ Szczegółowe wzory i reguły przekształceń opisano w załączniku 6.

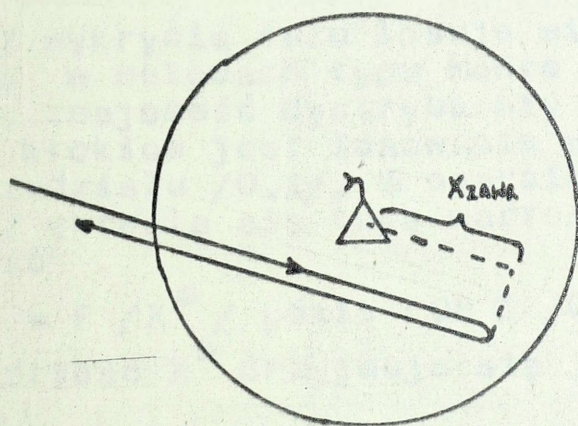
b/ w przypadku gdy cel "zwraca" w strefie wykrywania RLS "przed
bramą".



Rys. II.3.3.

$$PW = 1 - \exp \left\{ \frac{1}{\alpha^2} \left[DM \cdot X_{\max} - X_{ZAWR} \left(2 \cdot DM \cdot \sqrt{X_{ZAWR}^2 + Z^2} \right) + Z^2 \cdot \ln \left(\frac{X_{ZAWR} + \sqrt{X_{ZAWR}^2 + Z^2}}{X_{\max} + DM} \right) \right] \right\}$$

c/ w przypadku gdy cel "zawraca" w strefie wykrywania RLS "za
bramą"



Rys. II.3.4.

$$PW = 1 - \exp[-2 \cdot (\psi_1 + \psi_2)]$$

gdzie:

$$\psi_1 = \frac{1}{2\alpha^2} \left[DM \cdot X_{\max} + Z^2 \cdot \ln \left(\frac{Z}{X_{\max} + DM} \right) \right]$$

$$\psi_2 = \frac{1}{2\alpha^2} \left[2 \cdot DM \cdot X_{ZAWR} \cdot \sqrt{X_{ZAWR}^2 + Z^2} + Z^2 \cdot \ln \left(\frac{Z}{X_{ZAWR} + \sqrt{X_{ZAWR}^2 + Z^2}} \right) \right]$$

inne postaci wzorów na $P(x)$ pozwalają na wyznaczanie prawdopodobieństwa wykrycia i losowania na tej podstawie faktu wykrycia x .
 inne postaci wzorów są zbyt złożone na to aby wyznaczać na ich podstawie funkcje odwrotne $X=X(LOS)$. Dlatego przy określaniu miejsca /momentu/ wykrycia celu przez RLS stosuje się wzory i reguły jakane w przypadku szczególnym, tj. wówczas gdy cel przechodzi przez strefę wykrywania RLS z zerowym parametrem kursowym $Z=0$.
 korzystuje się tutaj fakt, że w takim przypadku wzór na $P(x)$ przyjmuje znacznie prostszą postać:

$$P(x) = 1 - \exp\left(-\int_{x_A}^{x_B} \frac{x_{max}-x}{a^2} dx\right)$$

konując szczegółowej analizy tego wzoru, po odpowiednich przekształceniach x uzyskuje się reguły pozwalające na wyznaczanie miejsca /momentu/ wykrycia w dowolnym przypadku, na różnych odcinkach toru lotu celu.

Bardzo istotny wpływ na wykrywanie i śledzenie celów przez RLS mają zakłócenia radioelektroniczne stosowane przez nieprzyjaciela. Wpływ tych zakłóceń na możliwości wykrywania i śledzenia celów przez

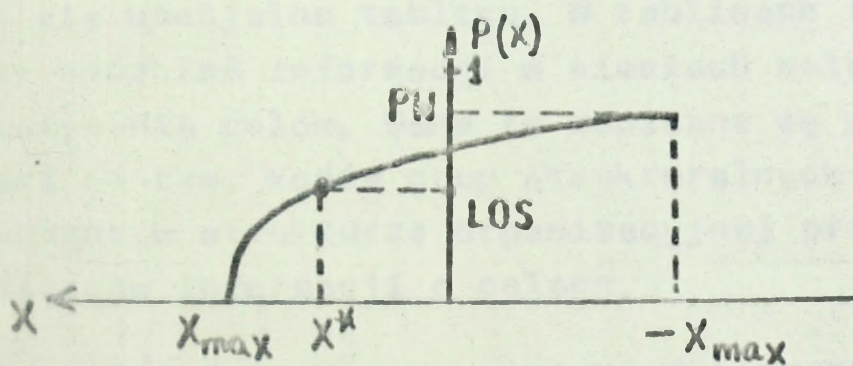
 / Moment /miejsce/ wykrycia celu losuje się zgodnie z podstawową zasadą stosowaną w metodach typu Monte - Carlo. W metodzie tej wykorzystuje się znajomość dystrybuanty rozkładu prawdopodobieństwa. Pierwszym krokiem jest losowanie wg rozkładu równomiernego liczby LOS z przedziału $[0,1]$. W oparciu o znajomość postaci dystrybuanty $P(x)$ określa się taką wartość x^* dla której spełniona jest zależność

$$LOS = P(x^*) \quad \text{gdzie } LOS \in [0,1]$$

Tak określona wartość x^* przyjmuje się jako miejsce /moment/ wykrycia celu.

$$x_w = x^*$$

$$LOS \leq PW$$



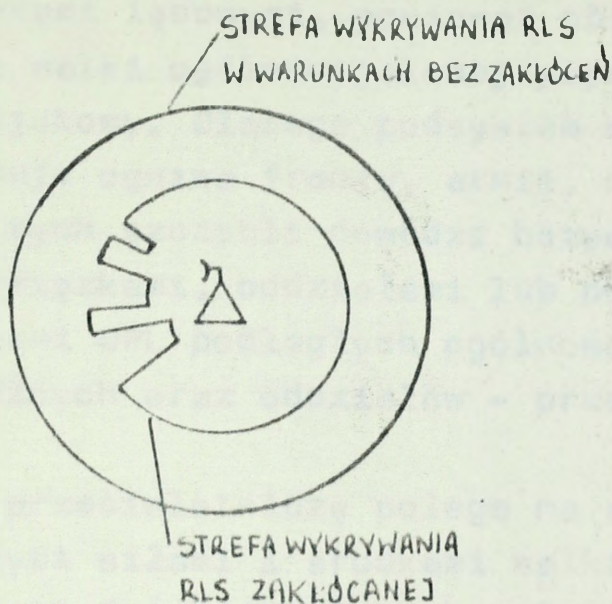
Rys. II.3.5.

Uwaga: Liczba LOS jest tą samą liczbą, którą wykorzystuje się przy losowaniu faktu wykrycia zgodnie z regułą:

$$LOS \leq PW \iff \text{cel wykryty}$$

Postępowanie to oraz wzory końcowe przedstawiono w załączniku 6

3 uwzględnia się w modelu przez wyznaczanie sektorów, w których nie jest widzialny na tle zakłóceń oraz uwzględnianie kompresji rezy wykrywania RLS poza tymi sektorami^{x/}.



Rys. II.3.6.

Uwzględniając zmniejszenie się realnej wartości DM w odniesieniu do konkretnych celów, dla określania faktu i momentu wykrycia celu w procesie symulacji stosuje się ogólne reguły przedstawioneżej.

W modelu przyjmuje się, że cel, który został wykryty przez RLS jest przez nią śledzony w sposób ciągły, aż do momentu wyjścia ze strefy wykrywania.

Dla określenia możliwości i czasu uzyskiwania informacji o celach z poszczególnych RLS przez SD i PD OPL, w procesie symulacji wykorzystuje się specjalne tablice. W tablicach tych zanotowane są średnie czasy opóźnień informacji w sieciach meldowania, powiadamiania i wskazywania celów. Dane te zapisane są w postaci funkcyjnej zależności od tzw. kodów grup strukturalnych odwzorowujących miejsca zajmowane w strukturze organizacyjnej przez potencjalne źródła i odbiorców informacji o celach.

I.4. Podsystem dowodzenia - stanowiska dowodzenia i punkty dowodzenia obroną przeciwlotniczą

Podsystem dowodzenia obroną przeciwlotniczą jest to zespół organów i środków dowodzenia połączonych według ustalonego sposobu pod-

Reguły wyznaczania takich sektorów oraz kompresji strefy wykrywania przedstawiono w załączniku 7.

porządkowania i podziału funkcji dowodzenia. Struktura podsystemu dowodzenia obroną przeciwlotniczą powinna w pełni odpowiadać strukturze dowodzenia wojskami lądowymi, ponieważ obrona przeciwlotnicza jest częścią składową walki ogólnowojskowej /operacji/, którą kieruje dowódca ogólnowojskowy. Dlatego podsystem dowodzenia obroną przeciwlotniczą obejmuje ogniwa frontu, armii, dywizji, oddziału i pododdziału. Każdy z tych szczebli dowodzi bezpośrednio organicznymi i przydzielonymi związkami, oddziałami lub pododdziałami wojsk OPL, a siłami i środkami OPL podległych ogólnowojskowym związków operacyjnych i taktycznych oraz oddziałów - przez ich organy dowodzenia.

Dowodzenie obroną przeciwlotniczą polega na stałym kierowaniu przez dowódcę podległymi siłami i środkami walki z nieprzyjacielem powietrznym; organizacji działań bojowych; ukierunkowaniu ich wysiłku do wykonania postawionych zadań.

Dowodzenie siłami i środkami obrony przeciwlotniczej obejmuje: zespół przedsięwzięć ukierunkowanych na utworzenie we właściwym czasie i utrzymanie w toku walki wymaganego ugrupowania sił i środków OPL; podsystemy rozpoznania i rażenia; wszechstronne zabezpieczenie działań bojowych. W zakres dowodzenia wchodzi wszystkie przedsięwzięcia związane z organizacją działań bojowych sił i środków OPL, a mianowicie: zbieranie i opracowanie danych o sytuacji; podjęcie decyzji do obrony przeciwlotniczej, planowanie działań bojowych; postawienie zadań bojowych, rozwijanie sił i środków w ugrupowanie bojowe; organizacja współdziałania i wszechstronnego zabezpieczenia działań bojowych oraz kierowania manewrem /przegrupowaniem/ w toku walki /operacji/.

Ważną częścią składową dowodzenia są przedsięwzięcia związane z kierowaniem siłami i środkami obrony przeciwlotniczej podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego; wykrywanie i rozpoznawanie celów powietrznych, ocena sytuacji powietrznej, ocena możliwości bojowych podległych sił i środków OPL, podjęcie decyzji do odparcia nalotu, postawienie zadań podwładnym do zwalczania nieprzyjaciela powietrznego i kontrola ich wykonania. Kierowanie rozpoznaniem i ogniem w związku ze złożonością, krótkotrwałością i gwałtownością zmian sytuacji powietrznej wymaga posiadania w wojskach obrony przeciwlotniczej specjalnych punktów, środków i sposobów dowodzenia.

Przy tradycyjnym, opartym o system planszeto-foniczny, sposobie kierowania obroną przeciwlotniczą, możliwości bezpośredniego oddziaływania na realizację zadań bojowych przez podwładnych są w znacznym stopniu ograniczone. Dlatego też, w poszczególnych ogniskach decyzyjnych kierowanie działaniami środków obrony przeciwlotniczej realizowane jest w specyficzny sposób i, szczególnie na szczeblach operacyjnych, w ograniczonym zakresie.

1. Na szczeblu PłSD WL i WOPL frontu kierowanie działaniami środków obrony przeciwlotniczej w zakresie zwalczania celów powietrznych polega na:

- ciągłym zbieraniu i analizowaniu informacji o działaniach środków napadu powietrznego /przez CRI/;
- zbieraniu danych dotyczących zadań i położenia osłanianych obiektów oraz ocenianiu ich potrzeb w zakresie obrony przeciwlotniczej;
- zbieraniu, opracowywaniu, ewidencjonowaniu danych dotyczących położenia, stanu oraz możliwości naziemnych środków obrony przeciwlotniczej oraz lotnictwa myśliwskiego;
- systematycznym prowadzeniu oceny położenia, decydowaniu o sposobie zwalczania celów powietrznych i ogólnym kierowaniu walką z nimi.

Decyzje o sposobie zwalczania celów powietrznych oraz kierowanie ich zwalczaniem na szczeblu PłSD WL i WOPL frontu mają charakter operacyjny i dotyczą z zasady strefowych środków obrony przeciwlotniczej.

2. Na szczeblu PłSD WL i OPL armii kierowanie obroną przeciwlotniczą w zakresie zwalczania celów powietrznych realizowane jest według takich samych zasad jak na PłSD WL i WOPL frontu. Ponadto PłSD WL i OPL armii zobowiązane jest do systematycznego meldowania na PłSD WL i WOPL frontu o położeniu i możliwościach środków obrony przeciwlotniczej w pasie działania armii, wniosków i propozycji dotyczących działania środków obrony przeciwlotniczej frontowego podporządkowania na korzyść armii, wariantów współdziałania oraz rezultatów działań bojowych.

Decyzje podejmowane na PłSD WL i OPL armii w zakresie zwalczania celów powietrznych mają charakter operacyjno-taktyczny i mogą polegać na:

- określeniu szczebla centralizacji dowodzenia w zależności od sytuacji;

- określeniu wariantu i sposobu współdziałania lotnictwa myśliwskiego z naziemnymi środkami obrony przeciwlotniczej;
- podziale wysiłku współdziałających ze sobą środków obrony przeciwlotniczej między różne cele lub też ześrodkowaniu go kolejno w czasie na pojedynczych celach;
- stosowaniu zakazów /ograniczeń/ działania jednego ze współdziałających środków obrony przeciwlotniczej.

3. PD szefa OPL ZT jest organem dowodzenia całością sił i środków organicznych i przydzielonych dywizji. Do zadań jego należy:

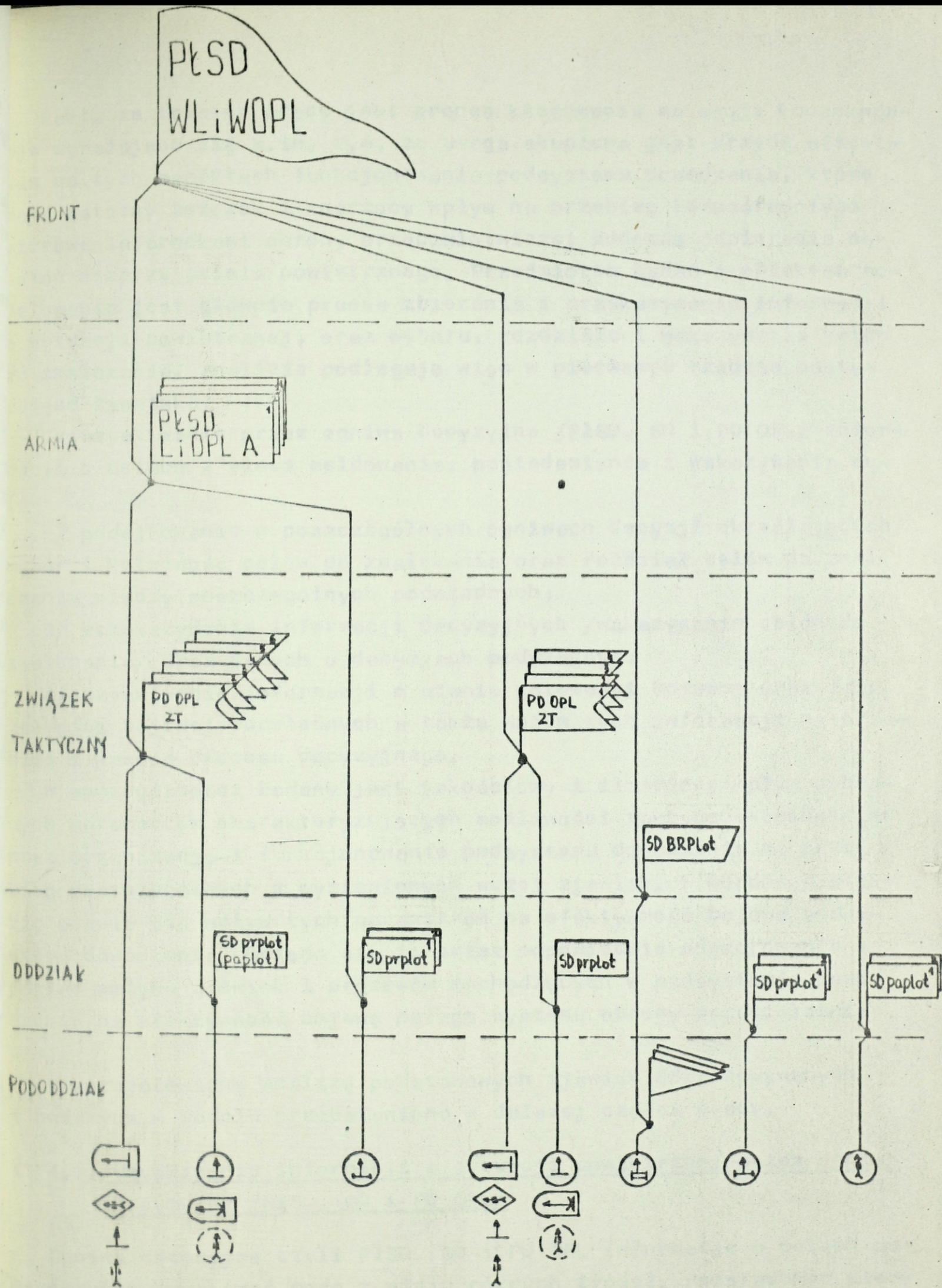
- kierowanie działaniami sił i środków OPL związku taktycznego;
- kierowanie zwalczaniem celów powietrznych w pasie działań ZT;
- realizacja współdziałania rakiet i artylerii przeciwlotniczej z lotnictwem myśliwskim;
- ostrzeganie oddziałów ZT o nalotach środków napadu powietrznego;
- uprzedzanie naziemnych środków OPL o przelotach własnego lotnictwa w celu zapewnienia mu bezpieczeństwa w pasie działań dywizji;
- kierowanie rozpoznaniem radiolokacyjnym na szczeblu dywizji;
- wskazywanie celów pododdziałom nie dysponującym środkami rozpoznania radiolokacyjnego.

Ponieważ głównym przedmiotem zainteresowania w rozprawie jest proces kierowania obroną przeciwlotniczą na szczeblach operacyjnych pociąga to za sobą konsekwencje wyrażające się m.in. w ograniczeniu szczegółowości rozważań do tych tylko elementów i aspektów funkcjonowania systemu dowodzenia, które mają istotne znaczenie i wyraźny wpływ na przebieg procesów decyzyjno-informacyjnych na szczeblach operacyjnych. W hierarchicznej strukturze podsystemu dowodzenia najniższymi wyróżnianymi elementami są:

- SD paplot;
- SD prplot;
- SD do BRPlot;
- PD szefa OPL ZT^{x/}.

Hierarchiczną strukturę podsystemu dowodzenia odwzorowywaną w modelu przedstawia poniższy schemat:

x/ Jako organ kierowania obroną przeciwlotniczą w oddziałach i pododdziałach ogólnowojskowych. Odrębnie rozpatruje się kierowanie w dywizyjnych oddziałach obrony przeciwlotniczej, tam najniższym ogniwem jest SD prplot /paplot/. Zakłada się, że środki obrony przeciwlotniczej w pododdziałach i oddziałach ogólnowojskowych kierowane są w sposób zdecentralizowany.



Rys. 11.4.1

Fakt, że tematem pracy jest proces kierowania ma swoje konsekwencje wyrażające się m.in. tym, że uwaga skupiona jest przede wszystkim na tych aspektach funkcjonowania podsystemu dowodzenia, które mają istotny związek i znaczący wpływ na przebieg bezpośredniego kierowania środkami obrony przeciwlotniczej podczas odpierniania natarć nieprzyjaciela powietrznego. Przedmiotem badań i obiektem modelowania jest głównie proces zbierania i przekazywania informacji o sytuacji powietrznej, oraz wyboru, rozdziału i wskazywania celów do zwalczania. Analizie podlegają więc w pierwszym rzędzie następujące zjawiska:

1/ uzyskiwanie przez ogniwa decyzyjne /PłSD, SD i PD OPL/ informacji o celach z sieci meldowania, powiadamiania i wskazywania celów;

2/ podejmowanie w poszczególnych ogniwach decyzji określających wybór i kolejność celów do zwalczania oraz rozdział celów do zwalczania między poszczególnymi podwładnymi;

3/ przekazywanie informacji decyzyjnych /wskazywanie celów do zwalczania/ oraz danych o decyzjach podwładnym;

4/ uzyskiwanie informacji o stanie gotowości bojowej oraz działalności bojowej podwładnych a także wpływ tych informacji na przebieg i jakość procesu decyzyjnego.

W szczególności badany jest jakościowy i ilościowy wpływ wybranych parametrów charakteryzujących możliwości taktyczno-techniczne oraz organizację i funkcjonowanie podsystemu dowodzenia na przebieg poszczególnych z wymienionych wyżej zjawisk. W końcowym efekcie ocenia się wpływ tych parametrów na efektywność bojową podsystemu dowodzenia. Osiąga się to przez odpowiednie odwzorowanie i pomiar wpływu zjawisk i procesów zachodzących w podsystemie dowodzenia na efektywność bojową całego systemu obrony przeciwlotniczej.

Uszczegółowioną analizę podstawowych zjawisk odwzorowywanych i badanych w modelu przedstawiono w dalszej części pracy.

II.4.1. Uzyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej przez ogniwa decyzyjne /PłSD, SD i PD OPL/

Ogniwa decyzyjne czyli PłSD, SD i PD OPL informacje o celach powietrznych uzyskiwać mogą z wielu różnych źródeł. Podstawowym pierwotnym źródłem informacji o sytuacji powietrznej są stacje radio-

lokacyjne - RLS. W modelu pod uwagę bierze się następujące rodzaje pierwotnych źródeł informacji o sytuacji powietrznej:

- RLS z RPW armijnych i frontowych;
- RSWP szefów OPL ZT;
- RSWP BRPlot oraz RSWW^{x/} do BRPlot;
- RSWP prplot i paplot;
- SSWN^{x/} brplot KUB.

Użyteczność informacji o celach uzyskiwanych przez PłSD/ SD, PD/ z różnych źródeł cechują wyraźne różnice. Zależy ona przede wszystkim od tego, czy istniejące relacje łączności umożliwiają pozyskanie informacji, oraz od wielkości przedziału czasowego - ΔT^{OPI} , dzielącego moment wykrycia celu od momentu, w którym informacja jest dostępna do wykorzystywania w procesie kierowania na SD /PD/^{xx/}.

W celu wyjaśnienia od czego zależy użyteczność informacji przeprowadzono specjalną analizę, z której wynika, że możliwość wykorzystywania informacji i czas opóźnienia w procesie jej przekazywania i wstępnego przetwarzania - ΔT^{OPI} , zależy przede wszystkim od tego, jakie miejsca w strukturze organizacyjnej zajmują nadawca i odbiorca informacji. Ścisłe rzecz ujmując istotna jest relacja między pozycjami zajmowanymi w strukturze organizacyjnej.

Na podstawie materiałów opracowanych w DW OPL MON^{xxx/} dla każdego rodzaju PłSD, SD i PD wyróżnianego w modelu przeprowadzono analizę możliwości pozyskiwania informacji z różnych źródeł oraz wyznaczono^{xxxx/} średnie czasy opóźnienia przy wykorzystywaniu tej informacji - ΔT^{OPI} . Przyjęto tutaj, że ΔT^{OPI} jest sumarycznym czasem opóźnienia przy pozyskiwaniu informacji generowanym podczas odczytu, zbierania, przetwarzania, zobrazowania i przesyłania informacji i zawiera w sobie także opóźnienia czasowe wynikające m.in. z przechodzenia na różne układy współrzędnych, z niedokładności wskazania celu wynikającej z błędu odczytu, z ograniczonej rozdzielczości przyjętego układu siatki, błędu aproksymacji trasy celu, oczekiwania in-

x/ Informacja wykorzystywana jest w organicznych oddziałach /ZT/.

xx/ Brak odpowiedniej relacji łączności można przedstawić jako bardzo dużą wartość ΔT^{OPI} . Tego rodzaju zapis stosuje się w modelu. Podobnie niedostosowanie polegające np. na stosowaniu różnych układów współrzędnych, niedokładność informacji itp. także można zapisać przez odpowiednie zwiększenie wartości ΔT^{OPI} .

xxx/ Prace /92/ i /93/.

xxxx/ Wyniki analizy i rezultaty obliczeń w postaci wartości ΔT^{OPI} przedstawiono w załącznikach 17 i 20.

informacji w kolejce do transmisji itp. Założono przy tym, że informacje o celach można wykorzystywać w procesie kierowania do wskazywania celów środkiem rażenia tylko pod warunkiem, że ΔT^{OPI} nie przekroczy wartości granicznej - T^{GRAN} , oznaczającej graniczny czas "życia" informacji.

Dla potrzeb praktycznego wykorzystania wartości ΔT^{OPI} zostały tablicowane. W tym celu potencjalnym nadawcom informacji /RLS/ i odbiorcom informacji /PłSD, SD i PD, a także KC/ zostały przypisane tzw. kody grup strukturalnych, czyli liczby odwzorowujące w sposób umowny ich miejsca w strukturze organizacyjnej. Wartości ΔT^{OPI} zapisano w dwuwymiarowej tablicy, w której indeks pierwszego wymiaru odwzorowuje kod grupy strukturalnej nadawcy informacji, natomiast indeks drugiego wymiaru jest związany z kodem grupy strukturalnej odbiorcy informacji.

Modelowanie procesu uzyskiwania informacji o celach przez ogniwa decyzyjne /PłSD, SD i PD OPL/ bazuje na rezultatach modelowania procesu rozpoznania. Jest to możliwe dlatego, że symulacyjny model procesu wykrywania celów umożliwia zarejestrowanie dla każdej pary "RLS-cel" zaistnienia faktu wykrycia celu oraz określenia przedziału czasu, w którym cel jest śledzony - $/T^{WYK}, T^{ZSL}/$. Znając dla każdego PłSD/ SD, PD/ opóźnienia w pozyskiwaniu informacji z różnego rodzaju źródeł można określić moment najwcześniejszego dotarcia informacji o celu do danego ogniwa - T^{ISD} . W tym celu porównuje się momenty pozyskiwania informacji $/T_i^{WYK} + \Delta T_{i,k}^{OPI}/$, z tych źródeł, dla których opóźnienie w pozyskiwaniu informacji nie przekracza wartości granicznej $/\Delta T_{i,k}^{OPI} \leq \Delta T_k^{GRAN}/$.

W ten sposób:

$$T^{ISD} = \left(\min_{i=1, I} \left\{ T_i^{WYK} + \Delta T_{i,k}^{OPI} \right\} : \Delta T_{i,k}^{OPI} \leq \Delta T_k^{GRAN} \right)$$

gdzie:

$i=1, I$ - indeksy RLS;

$k=1, K$ - indeksy ogniw decyzyjnych;

T_i^{WYK} - moment wykrycia celu przez i-tą RLS;

$\Delta T_{i,k}^{OPI}$ - sumaryczny czas opóźnienia w pozyskiwaniu informacji o celu od i-tej RLS do k-tego ogniwa decyzyjnego;

ΔT_k^{GRAN} - graniczny czas "życia" informacji o celu.

Przyjmuje się, że dane o celu są w ogniwie decyzyjnym dostępne w następującym przedziale czasu:

$$\left(T_i^{\text{WYK}} + \Delta T_{i,k}^{\text{OPI}} , T_i^{\text{ZSL}} + \Delta T^{\text{OPI}} \right)$$

gdzie:

$T_i^{\text{WYK}}, \Delta T_{i,k}^{\text{OPI}}$ - jak wyżej;

T_i^{ZSL} - moment zakończenia śledzenia celu przez i-tą RLS.

W ten sposób określony jest czas, w którym dane o fakcie wykrycia celu oraz jego podstawowe charakterystyki dostępne są w ogniwie decyzyjnym i mogą być podstawą do podejmowania decyzji. Uzyskanie danych o celu aczkolwiek jest warunkiem koniecznym, to jest też zaledwie warunkiem wstępnym do rozpoczęcia procesu decyzyjnego. W kolejnych etapach dane o celu są odpowiednio analizowane, w razie potrzeby uszczegółowiane a następnie nakładane na całokształt danych o sytuacji powietrznej po to, aby stać się podstawą do rozpoczęcia właściwego procesu decyzyjnego.

Omawiając proces uzyskiwania informacji o celach przez ogniwa decyzyjne należy jednocześnie zwrócić uwagę na proces przyjmowania informacji decyzyjnych od przełożonych wyższego szczebla. Podstawowym wskaźnikiem charakteryzującym ten proces jest czas potrzebny na przyjęcie wskazania celu i uwzględnienie go w kolejnym cyklu procesu decyzyjnego - ΔT^{OPD} .

II.4.2. Proces decyzyjny

Kolejnym elementem procesu kierowania jest podejmowanie w poszczególnych ogniwach decyzyjnych decyzji określających: cele i kolejność ich zwalczania oraz rozdział celów do zwalczania między poszczególnymi podwładnymi.

Proces decyzyjny jest w kierowaniu obroną przeciwlotniczą elementem najistotniejszym, decydującym w największym stopniu o jakości kierowania.

Proces podejmowania decyzji można opisać jako ciąg następujących czynności, będących w swej istocie kolejnymi wyborami:

1. wybór celów do zwalczania;
2. określenie kolejności i wymaganej intensywności zwalczania celów;
3. analiza możliwości zwalczania celów przez aktywne środki rażenia i wybór wykonawców decyzji tj. określenie podwładnych, którym ma być przekazana decyzja przydziału celów do zwalczania;

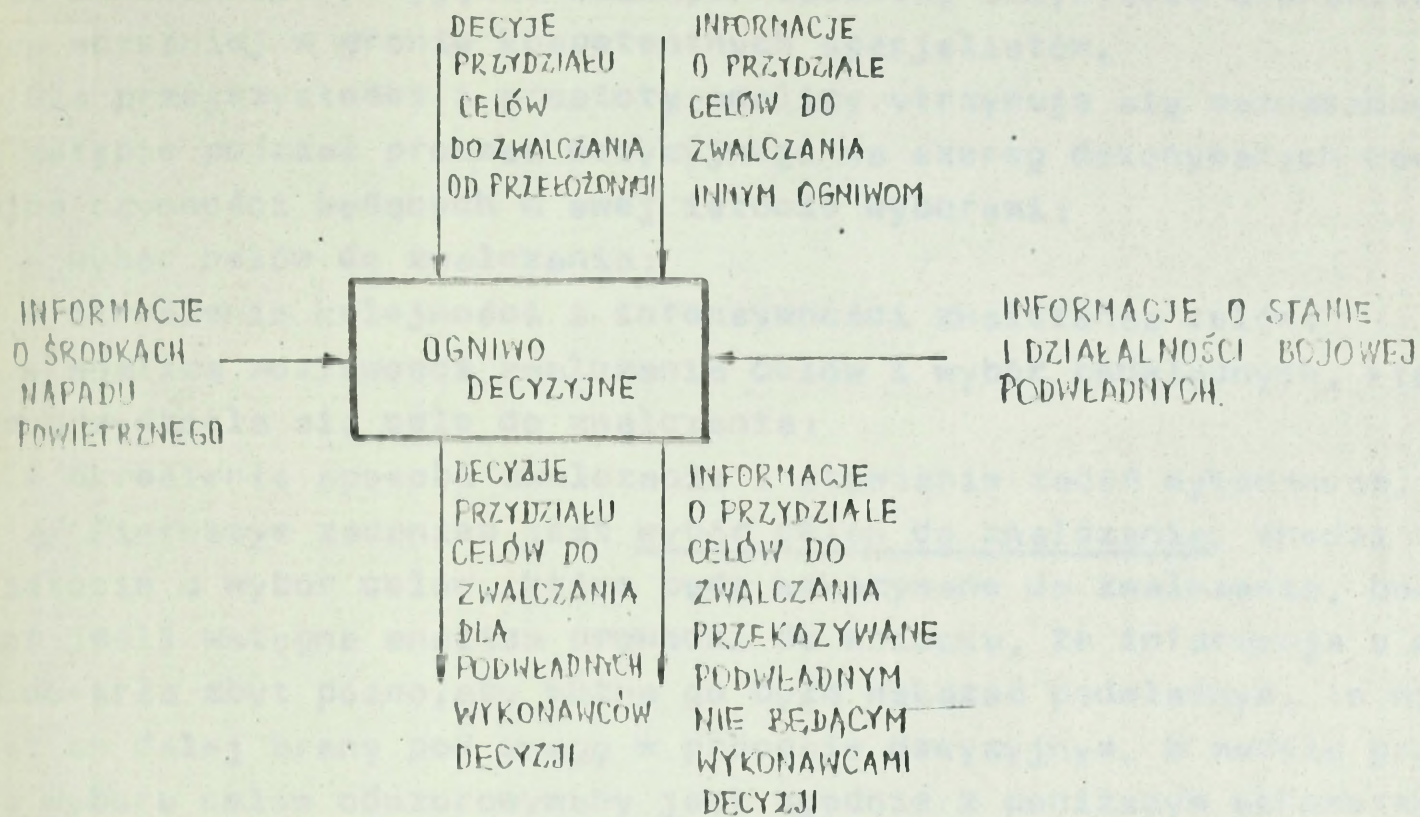
4. określenie sposobu zwalczania celów i stawianie zadań dla podwładnych.

O końcowym efekcie decyduje nie tylko jakość decyzji ale i takie czynniki jak: realna możliwość rozpoczęcia procesu decyzyjnego /tzn. uzyskanie o celach dostatecznie dokładnych danych w odpowiednim czasie/; możliwość przekazania decyzji do wykonawców /tzn. zakończenia procesu decyzyjnego w czasie umożliwiającym /w danym systemie/ doprowadzenie decyzji do środka ogniowego przed przekroczeniem przez cel rubieży ostatecznego postawienia zadania/. Podejmowanie właściwych decyzji w odpowiednim czasie jest jednak problemem najważniejszym. Przedstawiono już sposób modelowania procesu pozyskiwania przez ogniwa decyzyjne danych o celach powietrznych, w dalszej części analizowany będzie proces doprowadzania decyzji do podwładnych, poniżej przedstawiony jest model procesu decyzyjnego.

Między funkcjonowaniem poszczególnych ogniw decyzyjnych występują znaczne różnice. Różnorodność dotyczy ogniw decyzyjnych wydzielanych zarówno w przekroju struktur organizacyjnych jak i ze względu na różnice między środkami OPL, które są przedmiotem kierowania. Za niecelowe i praktycznie nierealizowane uznano konstruowanie całkowicie odrębnego modelu dla każdego ogniwa decyzyjnego. Zamiarem autora stało się stworzenie uogólnionego modelu procesu decyzyjnego opisującego funkcjonowanie różnych ogniw decyzyjnych /PłSD, SD i PD OPL/. Zgodnie z tym zamiarem poszczególne ogniwa decyzyjne traktuje się jako układy względnie odosobnione z wydzielonymi kanałami komunikacyjnymi oraz ze ściśle określonymi rodzajami informacji przekazywanych w tych kanałach między ogniwami decyzyjnymi a otoczeniem. W najprostszym zarysie schemat tak opisywanego układu zaznaczono na rysunku II.4.2.1.

W tej sytuacji uogólniony model ogniwa decyzyjnego opisuje proces obróbki informacji wejściowych, podejmowania decyzji na ich podstawie, oraz przekazywania informacji decyzyjnych podwładnym.

Aby uwzględnić rzeczywistą różnorodność w funkcjonowaniu ogniw decyzyjnych należy wyróżnić i sparametryzować podstawowe czynniki charakteryzujące ten proces i w istotny sposób wpływające na jego rzeczywiste zróżnicowanie. W ten sposób rzeczywista różnorodność funkcjonowania różnych PłSD, SD i PD uwzględniana jest przez przyjmowanie różnych wartości podstawowych parametrów.



Rys. II.4.2.1.

W aktualnie dostępnej literaturze nie są opisane sformalizowane i jednocześnie dostatecznie dokładne modele i algorytmy procesów decyzyjnych PISD, SD i PD OPL różnych szczebli. Modele z literatury teoretycznej prezentowane w literaturze, tworzone i badane są zwykle na wysokim poziomie abstrakcji i aczkolwiek są cenną pomocą do teoretycznych analiz, to nie mogą być podstawą dla tworzenia modelu symulacyjnego, adekwatnego do rzeczywistości. W instrukcjach kierowania obowiązujących w wojskach OPL^{x/} podane są jedynie ogólne zasady organizowania pracy oraz sposobu podejmowania decyzji. Natomiast dostępne w niektórych publikacjach rozważania "praktyków",

x/ K. Halama "Ogólna charakterystyka funkcjonowania SD OPL frontu /armii/" /proces decyzyjny/ pismo 01100 z dn. 1.09.80 DW OPL T-26/80.

"Kierowanie ogniem brygady-dywizjonu rakiet plot "KRUG" Sygn. WOPL 124/76.

"Zasady strzelania i praca bojowa baterii rakiet plot "OSA-AK" sygn. WOPL 157/80.

"Kierowanie ogniem pułku rakiet plot "KUB"-pf 17108/ASG WP

"Instrukcja kierowania ogniem artylerii plot wojsk OPL" Sygn. WOPL 66/69.

"Zasady strzelania i praca bojowa baterii rakiet plot "KRUG" Sygn. WOPL 129/76.

"Bateria ogniowa rakiet plot "KUB" Sygn. WOPL 106/74.

"Pułk artylerii plot w działaniach bojowych" sygn. WOPL 53/68.

zyli tych oficerów, którzy byli bezpośrednio zaangażowani w funkcjonowanie SD i PD OPL dotyczą z reguły problemów cząstkowych. Wynika stąd konieczność przyjęcia własnych założeń, oczywiście skonsultowanych wcześniej w gronie kompetentnych specjalistów.

Dla przejrzystości i prostoty analizy utrzymuje się zaznaczony a wstępie podział procesu decyzyjnego na szereg dokonywanych kolejno czynności będących w swej istocie wyborami:

- wybór celów do zwalczania;
- określenie kolejności i intensywności zwalczania celów;
- analiza możliwości zwalczania celów i wybór podwładnych, którym przydziela się cele do zwalczania;
- określenie sposobu zwalczania i stawianie zadań wykonawcom.

A/ Pierwszym zadaniem jest wyбір celów do zwalczania. Chodzi tu o wybór celów, które będą wskazywane do zwalczania, bowiem jeśli wstępna analiza prowadzi do wniosku, że informacja o celu dotarła zbyt późno, aby można go było wskazać podwładnym, to nie jest on dalej brany pod uwagę w procesie decyzyjnym. W modelu procesu wyboru celów odwzorowywany jest zgodnie z poniższym schematem.

Wstępną a zarazem najistotniejszą czynnością w ramach wyboru celów jest analiza położenia toru lotu ŚNP w stosunku do stref ognia /rażenia/ tych aktywnych środków OPL, które są podległe /niekoniecznie bezpośrednio/ danemu ogniwu dowodzenia. Te cele, które według wstępnej oceny nie wejdą w strefę ognia żadnego z podległych środków, nie są uwzględniane w dalszych etapach procesu decyzyjnego. Na sposób postępowania w kolejnych etapach w znacznym stopniu wpływa konieczność uwzględniania zjawiska błędnego prognozowania trasy przelotu ŚNP. Zjawisko to prowadzi do powstawania błędów dwójakiego rodzaju:

1/ wskazywania celów do zwalczania tym wykonawcom, którzy nie są w stanie realizować decyzji z tego względu, że cele nie przechodzą przez strefy ognia podległych im środków rażenia;

2/ nieuwzględnianie w procesie wskazywania celów do zwalczania tych środków OPL, które są w stanie zwalczać cele, na skutek błędnego wnioskowania, że ŚNP nie przejdą przez ich strefy rażenia.

Prawdopodobieństwo popełnienia błędu przy prognozowaniu toru lotu ŚNP jest funkcją wielu parametrów. Jako podstawowe wśród nich można wyróżnić trzy następujące:

- odstęp czasowy między momentem podejmowania decyzji a momentem

przekroczenia przez ŚNP dalszej granicy strefy startu^{x/} /rażenia/
 ΔT^{DOL} ;

- prędkość lotu ŚNP - V_c ;
- licznosc nalotu - N .

W ten sposób można zapisać następującą zależność:

$$P^{BL} = f(\Delta T^{DOL}, V_c, N)$$

Przy czym:

$$\frac{\Delta(P^{BL})}{\Delta(\Delta T^{DOL})} \geq 0$$

$$\frac{\Delta(P^{BL})}{\Delta(V_c)} \leq 0$$

$$\frac{\Delta(P^{BL})}{\Delta(N)} \leq 0$$

Co oznacza, że w miarę wzrostu odstępu czasu ΔT^{DOL} zwiększa się prawdopodobieństwo błędnej prognozy - P^{BL} , a przy wzroście prędkości ŚNP - V_c maleje prawdopodobieństwo popełnienia błędu, podobnie błąd jest mniej prawdopodobny wówczas, gdy nalot jest liczniejszy /mniej-
sze są wtedy możliwości manewru pojedynczych ŚNP/.

Dla celów, które przechodzą przez strefy ognia środków rażenia analizuje się ich położenie w stosunku do rubieży ostatecznego postawienia zadania dla podwładnych danego ogniwa decyzyjnego^{xx/}. W przypadku gdy nie ma możliwości przekazania informacji decyzyjnej do podwładnych przed przekroczeniem przez cel rubieży ostatecznego postawienia zadania /chodzi tu zarówno o rubież dalszą jak i bliższą/ - celu nie bierze się pod uwagę w dalszym ciągu procesu decyzyjnego. Jeśli istnieje przynajmniej jedno podległe ogniwo, którego środki ogniowe mogłyby razić cel i które zdąży w odpowiednim czasie przyjąć wskazanie celu do zwalczania - wówczas cel uwzględnia się w kolejnych etapach procesu decyzyjnego. W ten sposób kończy się etap określany w modelu jako wybór celów do zwalczania.

B/ Na kolejnym etapie procesu decyzyjnego określa się kolejność wymaganej intensywności zwalczania celów. W omawianych już instrukcjach kierowania ogniem podane są zasady ogólne, na ich podstawie określa się dla poszczególnych rodzajów ogniw decyzyjnych metody szeregowania celów. Dokonuje się to przez przyporządkowanie im waż-

x/ Przy założeniu, że ŚNP kontynuowałby lot w kierunku danego środka OPL. W systemie zautomatyzowanym decyzje podejmowane są w odniesieniu do położenia celu aproksymowanego na moment wysłania decyzji. Nie zmienia to faktu, że między podjęciem decyzji a jej realizacją upływa czas powodujący powstawanie "obszaru nieokreśloności".

xx/ Rozważania te przedstawiono w załączniku 9.

ności, czyli nadanie priorytetów określających wymaganą kolejność zwalczania. W instrukcjach podano następujące zasady "porządkowania" celów:

1/ W BRPlot KRUG^{x/}

str.37 pkt 84 "... stawiając zadania ogniowe dowódca brygady zobowiązany jest w pierwszej kolejności wyznaczyć do zniszczenia cele wskazane przez ośrodek kierowania OPL, cele najbardziej ważne oraz lecące przez obszar wzajemnego pokrycia się stref rażenia dywizjonów".

str.35 pkt 80 "Ważność celu określa się na podstawie typu ŚNP, ich składu, charakteru stosowanych zakłóceń i kierunku lotu. W zależności od typu - najbardziej ważne są te cele, które mogą być nosicielami broni jądrowej, w pierwszym rzędzie - rakiety kierowane. W zależności od składu - najważniejsze są cele grupowe. W zależności od stosowanych zakłóceń - najważniejszymi celami są samoloty stosujące zakłócenia aktywne, lecące pod osłoną zakłóceń oraz samoloty stosujące zakłócenia pasywne. W zależności od kierunku lotu - najważniejsze są cele, których kurs przechodzi przez główne elementy operacyjnego ugrupowania armii /elementy osłanianego obiektu/".

2/ W do BRPlot "KRUG"

str.38 pkt 93 "Wyboru najbardziej ważnych celów dokonuje się zgodnie z pkt 80.

3/ W baterii rakiet plot "KRUG"^{xx/}

str.15 pkt 23 "Spośród wykrytych w sektorze odpowiedzialności celów dowódca baterii wybiera cel do ostrzelania kierując się wskazówkami dowódcy dywizjonu, charakterem i ważnością celu, a także dogodnymi warunkami do przeprowadzenia strzelania. Jeżeli w sektorze odpowiedzialności znajduje się kilka celów o jednakowej ważności, dowódca baterii w pierwszej kolejności wybiera ten cel, który znajduje się najbliżej środka sektora odpowiedzialności".

x/ "Kierowanie ogniem brygady-dywizjonu rakiet przeciwlotniczych "KRUG", sygn. WOPL 124/76.

xx/ "Zasady strzelania i praca bojowa baterii rakiet plot "KRUG" sygn. WOPL 129/76.

4/ W prplot "KUB" x/

pkt 84 "Cele, które zostały wskazane przez przełożonego do zniszczenia, wyznacza się do ostrzału w pierwszej kolejności. Następnie przydziela się bateriom cele najbardziej ważne a przy jednakowej ważności - cele, które cechuje najmniejszy czas dolotu oraz lecące w strefie wzajemnego pokrycia się stref bojowych baterii".

pkt 83 "Ważność celów określa się w zależności od składu, kierunku i wysokości ich lotu, charakteru działań, typu oraz rodzaju stosowanych zakłóceń:

- w zależności od kierunku lotu i charakteru wykonywanych zadań - najbardziej ważnymi są te, których kurs przebiega przez główne ugrupowanie bojowe pułku;

- w zależności od wysokości - cele lecące na bardzo małych wysokościach, wykorzystujące maskujące cechy rzeźby terenu;

- w zależności od składu - cele grupowe;

- w zależności od rodzaju stosowanych zakłóceń - samoloty stosujące aktywne zakłócenia lub cele lecące pod osłoną zakłóceń;

- w pozostałych jednakowych warunkach - ważniejszym jest ten cel, który nie może być zniszczony przez inne środki obrony przeciwlotniczej;

- w zależności od typu - najważniejszymi są te cele, które nieprzyjaciel może użyć jako nosiciele broni jądrowej".

5/ W baterii rakiet plot "KUB" xx/

str.60 pkt 106 "Bateria rakiet plot otwiera i prowadzi ogień z maksymalnym wysiłkiem tak, aby ostrzelać jak najwięcej celów. W pierwszej kolejności niszczy najbardziej ważne cele wchodzące w strefę ognia baterii. Sposób wybierania celów najbardziej ważnych przedstawiono w pkt 147 niniejszej instrukcji. Przy odpieraniu nalotu celów pojedynczych, rozrzuconych na całej szerokości i głębokości strefy działań, do zniszczenia wyznacza się w zasadzie cel znajdujący się na najmniejszym kursowym parametrze...".

x/ "Kierowanie ogniem pułku rakiet przeciwlotniczych "KUB"

xx/ "Bateria ogniowa rakiet plot "KUB" sygn. WOPL 106/74.

str.78 pkt 159 "Podjęcie samodzielnej decyzji wybrania celu następuje po przeanalizowaniu i ocenieniu sytuacji powietrznej. Przy wyborze celu do ostrzelania dowódca baterii ma na uwadze: wytyczne dowódcy pułku do rozpoznania i prowadzenia ognia, stopień ważności celów, konieczność ostrzelania jak największej ich ilości, skład celów i warunki strzelania /wysokość, prędkość, parametr kursu celu, czas przebywania celu w strefie startu"/;

str.74 pkt 147 "Ważność celu określa się na podstawie typu ŚNP, jego składu, typu stosowanych zakłóceń i kierunków lotu. Wg typu ŚNP najbardziej ważne są cele, które mogą być nosicielami broni jądrowej, w pierwszej kolejności rakiety uskrzydłone klasy "Z-Z", "P-Z". Wg składu najważniejsze są cele grupowe z dużą liczbą celów pojedynczych /samolotów/. Wg charakteru stosowanych zakłóceń najważniejsze są cele stosujące zakłócenia aktywne, pasywne i cele lecące w zakłóceniach.

Wg kierunku lotu najważniejsze są cele lecące od strony frontu, których kurs przechodzi przez zasadnicze elementy ugrupowania bojowego osłanianych wojsk /obiektów/.

W przypadku jednakowych warunków w pierwszej kolejności zwalczą się te cele, do których są najdogodniejsze warunki strzelania".

str.84 pkt 180 "Przy jednoczesnym nalocie samolotów wykonujących zakłócenia i samolotów lecących pod osłoną zakłóceń w pierwszej kolejności zwalczą się samoloty wykonujące zakłócenia, a przede wszystkim wykonujące zakłócenia aktywne".

6/ W baterii rakiet plot OSA-AK^{x/}

str. 6 pkt 3 "Stopień ważności celów określa się na podstawie ich charakteru. W zależności od składu najważniejsze są cele grupowe. W zależności od typu najważniejsze są cele, które mogą być nosicielami broni jądrowej. W zależności od prędkości lotu najważniejsze są cele mające największą prędkość zbliżania do osłanianych wojsk, w zależności od wysokości - cele lecące na małych wysokościach z wykorzystaniem maskujących właściwości terenu. W zależności od kierunku lotu - cele, których kurs przechodzi przez ugrupowanie osłania-

x/ "Zasady strzelania i praca bojowa baterii rakiet plot OSA-AK"
sygn. WOPL 157/80.

nych wojsk lub ugrupowanie bojowe baterii. W zależności od rodzaju zakłóceń najważniejsze są cele stosujące zakłócenia aktywne i lecące pod ich osłoną.

Podczas jednakowych warunków w pierwszej kolejności ostrzeliwuje się cele, które są nosicielami broni jądrowej, samoloty stosujące zakłócenia aktywne, śmigłowce bojowe, a także cele grupowe i pojedyncze, których kurs przechodzi przez ugrupowanie bojowe osłanianych wojsk, znajdują się w najmniejszej odległości, mają największą prędkość zbliżania do osłanianych wojsk oraz lecą z najmniejszym parametrem kursu".

7/ W paplot S-60^{x/}

tr.26 pkt 55 "Ważność celu z taktycznego punktu widzenia, określa się biorąc pod uwagę stopień zagrożenia osłanianym wojskom /obiektem/. Zagrożenie to zależy od: kierunku lotu, wysokości, prędkości, składu i ugrupowania bojowego każdego celu. Ze względu na kierunek lotu najważniejszymi celami będą te, których przewidywany kurs lotu przechodzi przez rejon rozmieszczenia osłanianych wojsk /obiektów/^{x/}.

tr.55 "... dokonując wyboru celów należy mieć na uwadze przede wszystkim cele najbardziej zagrażające osłanianemu obiektowi. O stopniu zagrożenia świadczyć może typ samolotu /jego możliwości taktyczno-techniczne/, skład grupy i ugrupowanie, wysokość lotu itp. Dla pułku /dywizjonu/ celem może być grupa samolotów, pojedynczy klucz i pojedynczy samolot. Wyznaczając cele bateriom należy uwzględnić ich położenie względem kursu celu. Chodzi bowiem o zapewnienie bateriom maksymalnego czasu przebywania celu w strefie ostrzału i uzyskanie jak najwyższych wskaźników skuteczności..."^{xx/}.

Cytowane wyżej zasady aczkolwiek nie zawsze wyczerpują wszelkie możliwe warianty, są jednak czytelne i zrozumiałe, dlatego niecelowe jest przytaczanie ich zapisu algorytmicznego przyjętego w modelu. Podane tutaj zasady wykazują różnice, ale można także wyróżnić szereg elementów wspólnych.

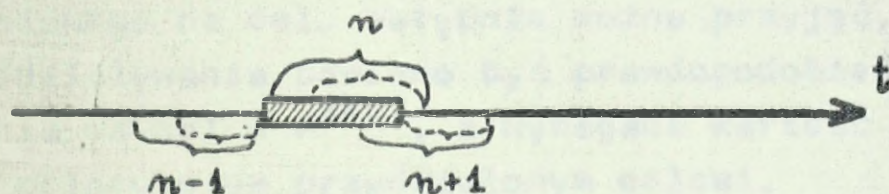
We wszystkich zapisach podaje się, że w pierwszej kolejności zwalczą się cele wskazane przez przełożonego, następnie zaś te cele, które wg oceny różnych cech charakterystycznych stanowią naj-

x/ "Instrukcja kierowania ogniem artylerii plot wojsk OPL". Sygn. WOPL 66/69.

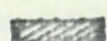
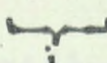
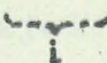
xx/ "Pułk artylerii plot w działaniach bojowych". Sygn. WOPL 53/68.

większe zagrożenie dla osłanianych wojsk lub elementów ugrupowania macierzystego oddziału /pododdziału/. W zależności od szerokości lub rodzaju środków ogniowych występują różnice w szczegółach przesłanek wyboru celów "najgroźniejszych", ale zasada podana wyżej stosowana jest we wszystkich rodzajach ogniów decyzyjnych.

Uporządkowanie celów w określonej kolejności oznacza nadanie im priorytetów. Jeśli przydzielenie podwładnemu celu do zwalczania kolidowałoby ze zwalczaniem innego celu o wyższym priorytecie, to niezależnie od kolejności wchodzenia ŚNP w strefy startu /ognia/ podległych środków rażenia, ich parametrów kursowych i innych charakterystyk, cel o niższym priorytecie /dalszym miejscu w kolejce/ nie może być przydzielany do zwalczania. Dyskusyjny jest tutaj problem wyboru sposobu postępowania w przypadku, gdy wzajemnie kolidują ze sobą: zwalczanie pojedynczego celu o priorytecie wyższym, z kolejnym zwalczaniem różnych celów o priorytetach niższych. Przykładową sytuację tego rodzaju przedstawia następujący schemat:



gdzie:

-  — czas przeniesienia ognia
-  — czas zajętości środków rażenia przy zwalczaniu i-tego celu wówczas, gdy ostrzeliwanie rozpoczyna się na dalszej granicy strefy startu /ognia/
-  — czas zajętości środków rażenia przy zwalczaniu i-tego celu, wówczas gdy ostrzeliwanie rozpoczyna się na bliższej granicy strefy /ognia/

• Rys. II.4.2.2.

Zasady podane w instrukcjach kierowania ogniem są zbyt ogólne na to, by na ich podstawie określić jednoznaczną odpowiedź przy tego typu problemach szczegółowych.

W modelu przyjęto, że cele porządkowane wg zasad podanych w instrukcjach mogą zajmować różne miejsca w "kolejce" mając przypo-

zadankowane te same wartości priorytetów. Wynika to, z przyjęcia ograniczonego zestawu możliwych wartości priorytetów. Cele z tymi tymymi priorytetami łączy się w grupy, a wewnątrz grup rozpatruje się alternatywne możliwości przydziału tak, aby z jednej strony doprowadzić do zwalczania maksymalnej ilości celów, z drugiej zaś jednocześnie maksymalizować wartość oczekiwaną strat zadanych przeciwnikowi, mierzonych przez wytrącony mu potencjał bojowy. Z powyższymi rozważaniami wiąże się problem określenia wymaganej intensywności zwalczania celów. O tym, że należy zadawać wymaganą intensywność zwalczania celów przekonuje np. możliwość przydziału celu bardzo ważnego /o dużym priorytecie/ dla pododdziału ZSU-23-4, przy równoczesnym przydziale celu niezbyt istotnego /o małym priorytecie/ dla brplot KRUG. Przydział taki nie może być uznany za właściwy, gdyż niejednakowo skuteczne są wskazane pododdziały ogniowe - prawdopodobieństwo skutecznego oddziaływania na cel /szczególnie lecący na średniej lub dużej wysokości/ jest dla "szyłki" znacznie mniejsze niż dla baterii rakiet plot KRUG. Już na tym prostym przykładzie widać konieczność zadawania wymaganej intensywności oddziaływania ogniowego na cel. Wstępnie można przyjąć, że miarą intensywności oddziaływania powinno być prawdopodobieństwo skutecznego oddziaływania na cel - P^{SKUT} , a wymagana wartość P^{SKUT} powinna być związana z priorytetem przydzielonym celowi.

Przy określaniu P^{SKUT} należy wziąć pod uwagę, że:

- w trakcie przydziału celów do zwalczania nie można dzielić kanałów celowania;
- nie powinno się oddziaływać na jeden cel kilkoma kanałami celowania wówczas, gdy prowadzi to do nieostrzelania innych celów;
- dla każdego celu można określić typ środka ogniowego, który w stosunku do niego największe możliwości skutecznego oddziaływania, oraz określić relacje między możliwościami zwalczania tego celu przez wybrany oraz inne typy środków, ale trudno jest a priori okładnie określić prawdopodobieństwo skutecznego oddziaływania na cel;
- wymagania na P^{SKUT} może mieć jedynie charakter oszacowania z tego m.in. względu, że można spotkać różne warianty nietypowe np. wymagane $P^{SKUT} = 0,50$ przy wyliczonym dla kanału celowania $P^{SKUT} = 0,48$ może prowadzić do rezygnacji z przydziału celu dla danego kanału celowania.

wymagania powyższe powodują, że zadawanie wymaganej intensywności oddziaływania przez podawanie wymaganej wartości P^{SKUT} prowadzi do bardzo żmudnych, w praktyce często nierealizowalnych działań. Dlatego też konieczne jest zastosowanie reguły, która byłaby prosteza i jednocześnie wiązała wymaganą intensywność zwalczania celu z priorytetem przydzielonym celowi.

Dla potrzeb modelu sformułowano następującą regułę - cele o wyższym priorytecie są przydzielane przede wszystkim tym środkom ogniowym, które mają duże możliwości skutecznego oddziaływania, dopiero brak możliwości takiego oddziaływania powoduje wybór środków rażenia o mniejszych możliwościach. Do zwalczania jednego celu przydziela się kilka kanałów celowania tylko wówczas, gdy nie umożliwiałoby to zwalczania celów o niższym priorytecie /co w warunkach salotu zmasowanego lub ześrodkowanego jest mało realne/.

Najwyższy priorytet mają z reguły ŚNP wskazane do zwalczania przez wyższych przełożonych. Środki OPL bezpośrednio podległe ogniom decyzyjnym najwyższych szczebli /w brygadach i pułkach rakiet przeciwlotniczych średniego i bliskiego zasięgu KRUG, KUB i OSA/ mają jednocześnie największe możliwości skutecznego oddziaływania na ŚNP /większe prawdopodobieństwo zniszczenia lub spowodowania utraty potencjału bojowego/. Wynika stąd wniossek, że podana wyżej reguła jest w istocie swej zgodna z zasadą, że przełożony przydzielając cele do zwalczania bierze pod uwagę te przede wszystkim środki rażenia, które są mu najbliższe organizacyjnie, w szczególności podległe bezpośrednio. Stosując tego typu zasady nie trzeba w sposób jawny zadawać wymaganej intensywności zwalczania celów, gdyż w praktyce wynika to częściowo ze sposobu ich rozdziału i zawsze zwalczanie odbywa się z maksymalną dopuszczalną w danych warunkach intensywnością. Przy przekazywaniu decyzji do podwładnych nie trzeba także zadawać priorytetów dla poszczególnych celów, gdyż w ogniwie decyzyjnym i tak określa się kolejność zwalczania ŚNP i znajduje to odzworowanie w sposobie rozdziału, przy czym cele przydzielane poszczególnym podwładnym "z góry" z reguły mają dla nich zbliżoną "ważność".

C/ Analiza możliwości zwalczania celów przez różne elementy podsystemu rażenia i wybór wykonawców decyzji przydziału celów do zwalczania. Jak to już wyżej zaznaczono analiza dotyczy w pierwszej kolejności środków rażenia o największych potencjalnych możliwościach skutecznego oddziaływania na ŚNP nieprzyjaciela, przy czym w trakcie

analizy, a następnie na etapie wyboru, pod uwagę bierze się głównie te środki, które są organizacyjnie najbliższe. Etap wyboru rozkładu środków rażenia jest zbędny w przypadku tych ogniw decyzyjnych, którym podlegają jednorodne środki OPL /np. na SD BRPlot, na SD prplot, na SD paplot itp./.

Ważnym czynnikiem, który powinien być uwzględniany w analizie jest ocena wpływu błędnej prognozy toru lotu, oraz wynikającej stąd błędnej oceny możliwości zwalczania celu, na jakość procesu decyzyjnego. Przydział celów do zwalczania środkom ogniowym o dużych potencjalnych możliwościach rażenia, lecz w warunkach gdy od momentu podejmowania decyzji do momentu wejścia celów w strefy startu /ognia/ upływa znaczny czas, prowadzi w efekcie do niewielkiej skuteczności. W takich przypadkach prawdopodobieństwo skutecznego oddziaływania P^{SKUT} osiąga niedużą wartość. Wynika to z faktu, że do skutecznego oddziaływania na cel niezbędna jest koincydencja dwóch warunków:

- bezbłędne prognozowanie toru lotu ŚNP, warunkuje to dokonanie prawidłowego rozdziału celów do zwalczania /mierzone przez $1 - P^{BL}$ /;
- skuteczne oddziaływanie na cel wchodzący w strefę startu /ognia/ /mierzone przez P^{RAZ} /.

Zależność P^{SKUT} od tych dwóch warunków można wyrazić przez następującą regułę ogólną:

$$P^{SKUT} = P^{RAZ} \cdot /1 - P^{BL}/$$

gdzie:

P^{RAZ} - prawdopodobieństwo rażenia celu, który wchodzi w strefę startu /ognia/;

P^{BL} - prawdopodobieństwo błędnego prognozowania toru lotu ŚNP, prowadzącego do niewłaściwego rozdziału celów do zwalczania.

Stąd wniosek, że w trakcie procesu decyzyjnego należy brać pod uwagę także środki o mniejszych potencjalnych możliwościach skutecznego oddziaływania wówczas, gdy mogą one zwalczać cele na tyle wcześniej, że przez zmniejszenie P^{BL} osiąga się wypadkowy wzrost P^{SKUT} .

Jak już to wcześniej zaznaczono, w literaturze podano jedynie ogólne zasady podejmowania decyzji, nie ma natomiast np. ścisłych reguł wyboru środków rażenia, którym należy wskazywać cele do zwalczania. Różne zalecenia podawane w instrukcjach można zreasumować w stwierdzeniu, że należy dokonywać wyboru środków rażenia w ten sposób, aby:

- zwalczać cele najważniejsze przy pomocy środków rażenia o największych potencjalnych możliwościach skutecznego oddziaływania $\max P^{RAZ}$ /, w miarę możliwości kilkoma różnymi środkami;

- wyznaczać dla środków rażenia te cele, których parametry lotu stosunku do strefy ognia /startu/ zapewniają najkorzystniejsze warunki do zwalczania celu /najmniejszy parametr kursowy, odpowiednia prędkość i wysokość lotu itp./.

Kierując się wskazówkami zawartymi w instrukcjach, oraz wyciągając odpowiednie wnioski z dotychczasowych rozważań, w modelu dla wyboru środków OPL, którym należy przydzielić cele do zwalczania przyto następującą metodę.

Na SD BRPlot, SD prplot, SD paplot i SD do wybiera się do zwalczania celów te pododdziały ogniowe, które mogą najwcześniej rozpocząć zwalczanie celu. Przy czym, jeśli dla kilku pododdziałów odstępów czasowe między momentami, w których mogą one rozpocząć zwalczanie celu, nie przekraczają pewnej założonej wielkości granicznej, to cel przydziela się do zwalczania temu pododdziałowi, w stosunku do którego parametr kursowy celu jest najmniejszy. Reguła ta tuzna jest jedynie w odniesieniu do tych ogniw decyzyjnych, które sterują walką jednorodnych pododdziałów ogniowych, dotyczy ona głównie PD OPL ZT i SD oddziałów OPL.

W przypadku gdy odwzorowywany jest proces decyzyjny na PŁSD/SD, D/ dowódcy /lub szefa/ wojsk OPL na szczeblu oddziału, ZT, ZO i ZO określenie reguły wyboru podwładnego, któremu należy wskazać cel do zwalczania jest znacznie bardziej skomplikowane.

Celowe jest wypuklenie i rozwinięcie w tym miejscu niektórych ogólnych założeń dotyczących procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. Tak więc:

- oceniając możliwość zwalczania celu pod uwagę bierze się środki ogniowe zgodnie z ogólną zasadą, że analizę prowadzi się w odniesieniu do dwóch szczebli hierarchicznych "w dół". Natomiast decyzja zawsze dotyczy tylko ogniwa bezpośrednio podległego - w którym z kolei po przyjęciu decyzji przełożonego, podejmowana jest, w oparciu o dokładniejsze przeciw dane, decyzja wyboru kolejnych podwładnych - tak długo aż wskazany zostanie bezpośredni wykonawca - poddział ogniowy;

- nie bierze się pod uwagę przypadków krańcowych jeśli chodzi o zakres centralizacji tj. ani całkowitej decentralizacji ani też cen-

tralizacji pełnej - przyjmuje się natomiast tzw. "mieszany" wariant kierowania. Polega on na tym, że cele, dla których jest to możliwe rozdzielane są możliwie maksymalnie "wysoko"^{x/}, równocześnie na każdym szczeblu podwładny zobowiązany jest samodzielnie podejmować decyzje dotyczące zwalczania tych celów, w stosunku do których nie ma od przełożonych informacji o przydzieleniu ich do zwalczania /innym ogniom/, lub o zakazie strzelania.

W oparciu o wyżej przedstawione przesłanki rozdziela się cele do zwalczania w taki sposób aby wypadkowa, sumaryczna skuteczność systemu OPL była najwyższa. W tym celu przy wyborze podwładnych, którym wskazuje się cele do zwalczania spełnione powinny być warunki:

a/ w trakcie wyboru preferuje się te środki ogniowe, które znajdują się w oddziałach i pododdziałach bezpośrednio podległych;

b/ preferencja przedstawiona w a/ może być zniesiona wówczas, gdy są środki rażenia, które mogą zwalczać ważne cele w czasie wcześniejszym o wielkość większą niż pewna założona ΔT_r^{DOP} /gdzie: Indeks r oznacza rodzaj ogniwa decyzyjnego/;

c/ spośród kilku równorzędnych, m.in. ze względu na spełnienie warunków a/b/ podległych ogniów decyzyjnych, jeśli dla podległych tym środków rażenia najwcześniejsze dopuszczalne momenty rozpoczęcia ostrzeliwania T^{WESO} nie różnią się więcej niż o ΔT_r^{DOP} , wskazuje się cel do zwalczania temu ogniwu, w którym większa ilość podległych kanałów celowania jest w stanie zwalczać cel;

d/ jeśli warunki a/-c/ nie zapewniają jednoznacznego wyboru, to cel do zwalczania przydziela się temu podwładnemu, dla którego minimalny parametr kursowy względem podległych środków ogniowych jest najmniejszy.

D/ Po wyborze podwładnego, któremu należy przydzielić cele do zwalczania następuje etap określania zadań i przekazywania ich do wykonawców decyzji. Na etapie tym po uwzględnieniu licznych przesłanek, a wśród nich m.in.:

- priorytetu nadanego celowi przez przełożonego;
- ważności celu ustalonej na podstawie własnej analizy; określa się wymagania dotyczące intensywności zwalczania celów. W modelu przyjęto, że zaznacza się to przez priorytet celu. Cele o najwyż-

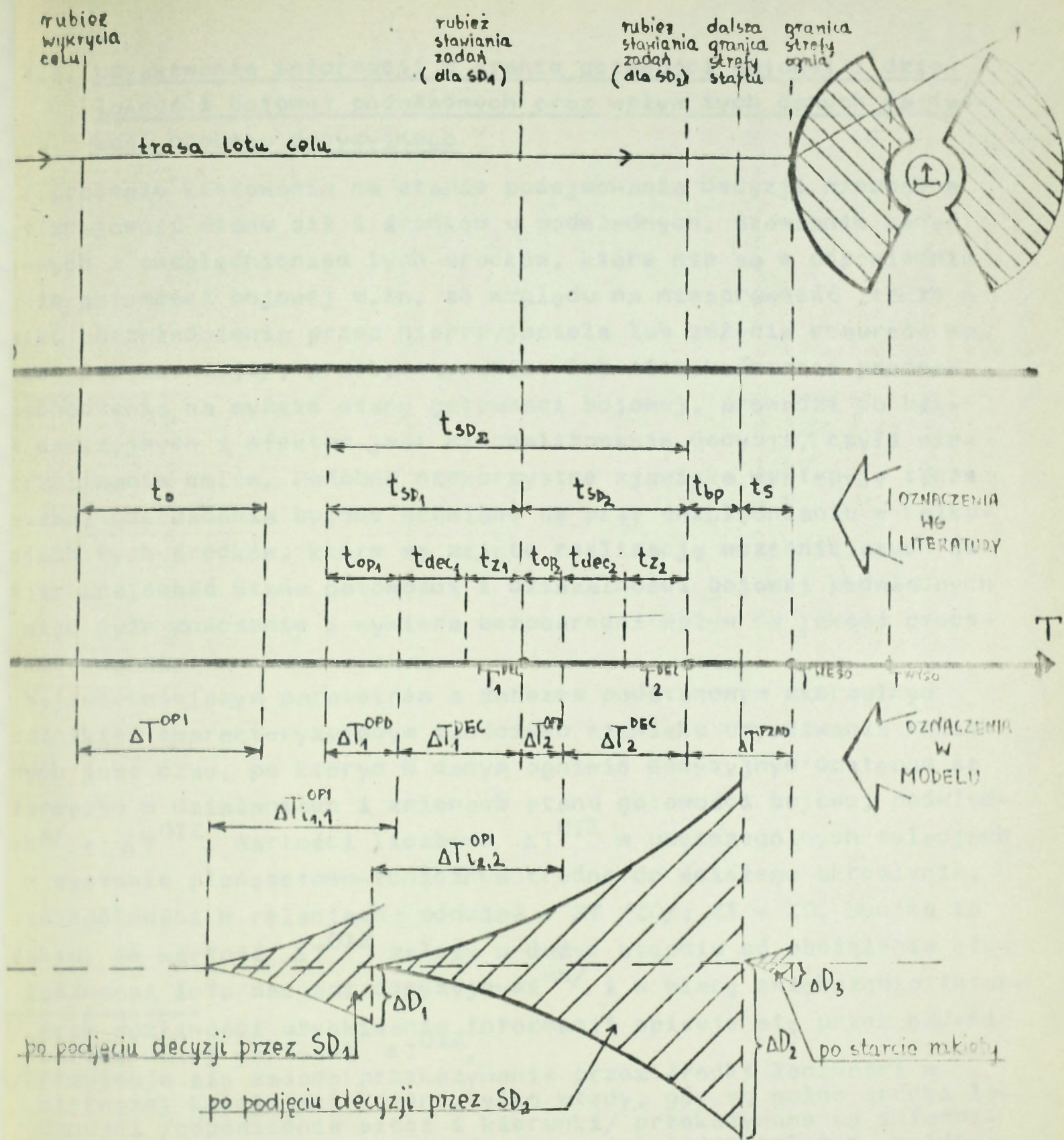
k/ W systemie zautomatyzowanym przyjmuje się dodatkową możliwość "samoograniczania" ogniwa decyzyjnego, polegającą na tym, że przy wypracowywaniu decyzji uwzględnia się tylko pewną, z góry przyjętą, część środków ogniowych podwładnego.

W tym priorytecie powinny być zwalczane w pierwszej kolejności przez rakiety przeciwlotnicze średniego i małego zasięgu lub przez skoncentrowany ogień innych środków, tak aby $P^{ZNI} \gg P^{GRAN}$. Ponadto przełożony może podawać zalecenia określające sposób zwalczania celów wzdłuż kanałami celowania, przy zużyciu ilu rakiet, na bliższej czy na dalszej granicy strefy startu /ognia/ itp./. Decyzje w formie zaleceń przekazywane są podwładnym.

W procesie doprowadzania informacji decyzyjnej odwzorowuje się i analizuje przede wszystkim zjawisko opóźnienia czasowego. Zjawisko to spowodowane jest głównie koniecznością uruchamiania i obsługi odpowiednich środków technicznych oraz wykonywania związanych z tym czynności. Przyjmuje się, że ogniwo decyzyjne /PłSD, SD, PD/ reaguje na wszelkie zmiany w sytuacji powietrznej oraz w stanie podległych wojsk do momentu rozpoczęcia cyklu decyzyjnego. Po zakończeniu tego procesu i podjęciu decyzji następuje okres, w którym informacja decyzyjna jeszcze nie jest przekazywana poza dane ogniwo a jest przetwarzana w zakresie wynikającym z wymagań operacyjnych narzucających przez środki utajnienia, łączności i automatyzacji^{x/}.

Podstawowym wskaźnikiem czasowym charakteryzującym proces podejmowania decyzji jest czas potrzebny na wypracowanie decyzji. W modelu jest on brany pod uwagę łącznie z czasem przekazywania informacji decyzyjnych, czyli stawiania zadań ogniowych dla wykonawców. Łączny czas potrzebny na podjęcie i przekazanie decyzji oznaczono symbolem ΔT^{DEC} . Interpretację ΔT^{DEC} ułatwia poniższy schemat, na którym zaznaczono związki między ΔT^{DEC} i ΔT^{OPD} a czasami t_{op} , t_{dec} , t_{SD} tradycyjnie wyróżnienymi w literaturze poświęconej analizie procesu kierowania.

x/ W systemie zautomatyzowanym duże znaczenie może mieć np. czas oczekiwania decyzji /meldunku/ na transmisję, ze względu na tworzące się kolejki. Na obecnym etapie jest to jedynie hipoteza, która będzie weryfikowana podczas kompleksowych badań systemu.



ZAKRES MANEWRU JAKI MOŻE WYKONAĆ CEL - ΔD :

$$\Delta D = f(\Delta T, V_c, \text{możliwości manewrowe celu, ugrupowanie, nalotu})$$

Oznaczenia:

- t_{op} - czas opóźnienia wynikający z przekazywania (zbioru) i przetwarzania inform. o syt. pow.;
- t_{dec} - czas potrzebny na ocenę sytuacji i podjęcie decyzji;
- t_z - czas niezbędny na przekazanie zadań wykonawcom;
- t_{sd} - czas cyklu doprowadzenia $t_{sd} = t_{op} + t_{dec} + t_z$ $t_{sd_{\Sigma}} = t_{sd_1} + t_{sd_2}$;
- t_0 - czas obiegu informacji w relacji RLS \rightarrow SD ;
- t_{bp} - czas bezpośredniego przygotowania do strzelania (od mom. otrzym. dec. do startu rak.);
- t_s - czas lotu rakiety.

Rys. II. 4. 2. 3.

4.3. Uzyskiwanie informacji o stanie gotowości bojowej i działalności bojowej podwładnych oraz wpływ tych danych na jakość procesu decyzyjnego

W procesie kierowania na etapie podejmowania decyzji niezbędna jest znajomość stanu sił i środków u podwładnych. Stawianie zadań bojowych z uwzględnieniem tych środków, które nie są w odpowiednim stanie gotowości bojowej m.in. ze względu na niesprawność /także w wyniku obezwładnienia przez nieprzyjaciela lub zużycia rewersów np. kaset lub amunicji/, przebazowywanie, lub niezakończenie procesu zechodzenia na wyższe stany gotowości bojowej, prowadzi do błędów decyzyjnych i efektem jest nierealizowanie decyzji, czyli nie-
trzelanie celów. Podobne niekorzystne zjawiska występują także wówczas, gdy zadania bojowe stawiane są przy uwzględnianiu w kalkulacjach tych środków, które są zajęte realizacją wcześniejszych decyzji. Znajomość stanu gotowości i działalności bojowej podwładnych ma więc duże znaczenie i wywiera bezpośredni wpływ na jakość procesu kierowania.

Najistotniejszym parametrem a zarazem podstawowym mierzalnym wskaźnikiem charakteryzującym ilościowo zjawisko uzyskiwania takich informacji jest czas, po którym w danym ogniwie decyzyjnym dostępne są informacje o działaniach i zmianach stanu gotowości bojowej podwładnych^{xx/} - ΔT^{OIZ} . Wartości liczbowe ΔT^{OIZ} w poszczególnych relacjach w systemie planszeto-fonicznym trudne do ścisłego określenia, szczególnie w relacjach: oddział - ZT /ZO/; ZT - ZO. Wynika to z faktu, że wartość ΔT^{OIZ} zależy w dużym stopniu od obciążenia sieci łączności informacjami decyzyjnymi^{xx/} i w miarę zwiększania intensywności

- ✓ Brak możliwości uzyskiwania informacji opisuje się przez nadanie bardzo dużej wartości ΔT^{OIZ} .
- ✓ Przyjmuje się zasadę przekazywania przez środki łączności w pierwszej kolejności komend. Tylko wtedy, gdy są wolne środki łączności /odpowiednie sieci i kierunki/ przekazywane są informacje zwrotne. Tak więc tam, gdzie są niezależne relacje: meldowania i przekazywania komend /wskazywania celów do zwalczania/tam informacje o stanie i działalności bojowej podwładnych docierają bez większych opóźnień, natomiast gdy jest to jedna wspólna relacja, przekazywanie komend ma priorytet i meldunki od podwładnych schodzą na dalszy plan. W warunkach nalotu zmasowanego oznacza to przekazywanie informacji najwcześniej po zakończeniu kolejnej fali nalotu /10-12 min./.

W aktualnym systemie łączność w dwu relacjach występuje jedynie w oddziałach i ZT OPL, natomiast do PD OPL ZT, PłSD WL i OPLA i PłSD WL i OPL F informacje od podwładnych docierają ze znacznym opóźnieniem, dopiero wówczas gdy wyraźnie zmniejsza się intensywność działań nieprzyjaciela powietrznego, co jak to już wspomniano, oznacza przekazywanie informacji w przerwach między falami nalotu.

ywności nalotu /a więc i częstszego generowania informacji decy-
 yjnych/ występuje zjawisko wyraźnego wydłużenia ΔT^{OIZ} . Szczegół-
 ie wyraźnie występuje to zjawisko tam, gdzie działania przeciwnika
 są najintensywniejsze, czyli w rejonie przełamania systemu OPL i
 rejonie obiektów ataku, a więc w tym miejscu i czasie, w którym
 informacja o stanie i działalności bojowej podwładnych ma znaczenie
 największe.

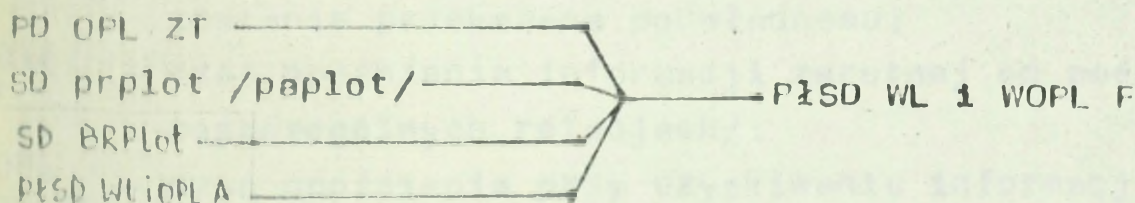
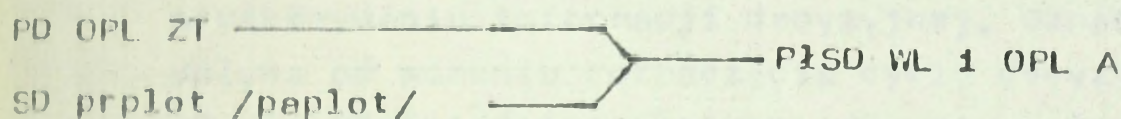
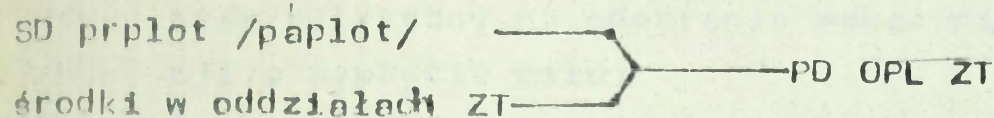
W modelu przyjmuje się, że w relacjach:

PRWB /wyrzutnia/ - bateria rakiet plot - SD prplot;

bateria rakiet plot - dywizjon rakiet plot - SD brygady rakiet
 lot;

- bateria artylerii plot - SD paplot.

informacja dociera z niewielkim opóźnieniem, czyli $\Delta T^{OIZ} \rightarrow \varnothing$,
 natomiast w relacjach:



informacja dociera po zakończeniu fali nalotu, a więc ΔT^{OIZ} wyno-
 si 10-12 min.

Wpływ braku odpowiedniej informacji o stanie i działalności bo-
 jowej podwładnych uwzględnia się i odwzorowuje w modelu przez wpro-
 wadzenie standardowych czasów ΔT^{OIZ} i uwzględnianie danych o zmia-
 nie stanu sprawności kanałów celowania dopiero po czasie ΔT^{OIZ} .
 Podobnie dopiero po czasie ΔT^{OIZ} bierze się pod uwagę tzw. zwrotne
 dane o działaniach bojowych podwładnych. Oznacza to np. że po przy-
 zieleniu przez SD celu do zwalczania, jeśli oddziaływanie podwład-
 nego nie jest skuteczne, to meldunek o tym dociera do SD podejmują-
 ego decyzję z opóźnieniem co najmniej ΔT^{OIZ} .

Zakłada się jednocześnie, że jeśli zawczasu nie zostanie wskaza-
 ny podwładny, który ma potęgować działanie, to ponowne uwzględnie-
 nie celu w procesie decyzyjnym możliwe jest dopiero po tym, jak in-
 formacja o wyjściu ŚNP ze strefy oddziaływania podwładnego dotrze
 do SD, a więc najwcześniej w czasie:

$$\min \left\{ T^{\text{WYSO}} + \Delta T^{\text{OPI}}; T^{\text{WYSO}} + \Delta T^{\text{OIZ}} \right\}$$

dzie:

- T^{WYSO} - moment wyjścia ŚNP ze strefy ognia tego kanału celowania, który mógłby najpóźniej zwalczać cel;
 - ΔT^{OPI} - minimalny czas, po którym informacja o wykryciu celu przekazywana z RLS śledzących cel do danego ogniwa decyzyjnego może być uwzględniana w procesie decyzyjnym.
- Dla ilościowego opisu funkcjonowania PłSD /SD, PD/ w modelu wykorzystuje się następujące parametry, wskaźniki ilościowe:
- r - indeks rodzaju SD;
 - g - kod grupy strukturalnej SD;
 - T_r^{OPD} - czas własny SD w procesie podejmowania decyzji. Jest to czas potrzebny na odebranie wskazania celu lub informacji o wykryciu celu;
 - T_r^{DEC} - łączny czas wypracowania decyzji oraz opóźnienia przy przekazywaniu informacji decyzyjnej. Oznacza czas jaki upływa od momentu rozpoczęcia cyklu decyzyjnego do chwili, gdy po odpowiedniej obróbce, decyzja w postaci komendy zostanie przekazana podwładnemu;
 - T_r^{OIZ} - czas opóźnienia informacji zwrotnej od podwładnych /w poszczególnych relacjach/;
 - $T_{gi,gr}^{\text{OPI}}$ - czas opóźnienia przy uzyskiwaniu informacji o celach z poszczególnych ogniw podsystemu rozpoznania /gi,gr - kody grup strukturalnych "źródła" i "odbiorcy" informacji/;
 - T_r^{DOP} - maksymalna dopuszczalna różnica czasów wejścia celów w strefę ognia podległych środków rażenia nie powodująca zmiany preferencji w przydziale celów do zwalczania /patrz: proces decyzyjny - analiza możliwości zwalczania celów i wybór wykonawców decyzji/;
 - bez symbolu - zakres centralizacji, określony dla każdego rodzaju ogniwa decyzyjnego jako ilość szczebli hierarchicznych, w stosunku do których prowadzi się analizę i podejmuje decyzje określające cele, które powinny być wskazywane do zwalczania;
 - bez symbolu - zakres ingerencji w działanie podwładnego, określamy przez procent ogólnej liczby środków bojowych podległych podwładnemu, którym przełożony może stawiać zadania /uwzględniać w procesie decyzyjnym/.

1.5. Działania bojowe lotnictwa myśliwskiego wydzielonego do realizacji zadań OPL

Lotnictwo myśliwskie wydzielone do realizacji zadań obrony przewlotniczej działa dyżurując w strefach w powietrzu oraz na lotniskach w pierwszym i drugim stopniu gotowości bojowej.

Przyjmuje się, że lotnictwo myśliwskie atakuje te cele, które są źródłami zakłóceń aktywnych oraz te, które loty wykonują na wysokości większej niż wcześniej określona /zwykle ok. 3000-3500 m/. Wynika to m.in. z faktu, że aktualne informacje o działaniach bojowych lotnictwa myśliwskiego dostępne są tylko w oddziałach rakiet przeciwlotniczych. Także urządzenia do identyfikacji przynależności obiektów powietrznych znajdują się jedynie w pododdziałach ogniowych typu WOŁCHOW, NEWA, KRUG, KUB i OSA. Dlatego lotnictwo myśliwskie aby uniknąć rażenia ze strony własnych środków OPL musi wykonywać loty na pułapie praktycznie wykluczającym oddziaływanie pododdziałów ogniowych innych typów.

Przyjmuje się, że samoloty myśliwskie startują do przechwycenia celu dopiero wówczas, gdy informacja o danym celu dotrze do ogniwa decydującego o użyciu lotnictwa myśliwskiego. Do zwalczania ŚNP wyzyskuje się w pierwszej kolejności samoloty ze stref dyżurowania w powietrzu, następnie dyżurujące na lotniskach w pierwszym i drugim stopniu gotowości bojowej.

Podczas oceny możliwości zwalczania ŚNP przez samoloty myśliwskie dyżurujące w strefie, jako podstawę analizy traktuje się zależność, że zwalczane mogą być tylko te cele, które znajdują się wewnątrz kręgu o środku (x^S, y^S) pokrywającym się ze środkiem strefy dyżurowania i promieniu

$$r = v^{PM} \cdot t$$

gdzie:

x^S, y^S - współrzędne środka strefy dyżurowania;

v^{PM} - prędkość samolotu myśliwskiego podczas lotu na przechwycenie celu;

t - czas jaki upływa od momentu rozpoczęcia lotu na przechwycenie, czyli od momentu podjęcia decyzji o użyciu lotnictwa myśliwskiego /po dotarciu informacji o celu do ogniwa decyzyjnego/.

Przyjmując, że ruch celu można przedstawić przy pomocy układu równań

$$\begin{cases} x = x^I + v^X \cdot t \\ y = y^I + v^Y \cdot t \end{cases}$$

dzie:

x, y - współrzędne celu po upływie czasu t od momentu rozpoczęcia lotu samolotu myśliwskiego na przechwycenie;

x^I, y^I - współrzędne celu w momencie rozpoczęcia lotu na przechwycenie;

v^X, v^Y - składowe prędkości lotu celu

wstawiając te wzory do równania przedstawionego wyżej okręgu uzyskuje się po przekształceniu równanie:

$$t^2 \cdot [(v^X)^2 + (v^Y)^2 - (v^{PM})^2] + t \cdot \{ 2 \cdot [v^X \cdot (x^I - x^S) + v^Y \cdot (y^I - y^S)] \} + [(x^I - x^S)^2 + (y^I - y^S)^2] = 0$$

Rozwiązując to równanie względem t w zakresie liczb rzeczywistych i wybierając mniejszy z dodatnich pierwiastków t^X określa się moment, w którym cel mógłby być przechwycony przez myśliwce. Należy jeszcze sprawdzić, czy samoloty myśliwskie dysponują odpowiednim rezerwowem lotu tzn. czy dysponują jeszcze zapasem paliwa umożliwiającym doloć do celu, stoczenie walki powietrznej i powrót na lotnisko^{X/}.

W przypadku, gdy ocenia się możliwość przechwycenia celu przez samoloty dyżurujące na lotniskach wykorzystuje się podobne reguły.

Walkę powietrzną modeluje się jako ciąg następujących zdarzeń:

a/ wykrycie celu. Przyjmuje się, że w przypadku gdy brak jest innych zakłóceń radioelektronicznych, cele wykrywane są z prawdopodobieństwem P^{LW} , przy silnych zakłóceniach z prawdopodobieństwem P^{LS} , gdzie:

P^{LW} - prawdopodobieństwo wykrycia celu przez myśliwce naprowadzane z PNWC. Przyjmuje się $P^{LW} = 0,6-0,7$;

P^{LS} - prawdopodobieństwo wykrycia celu przez myśliwce w przypadku samodzielnego poszukiwania. $P^{LS} = 0,1-0,3$;

b/ wyjście do ataku przez samoloty myśliwskie. Prawdopodobieństwo wyjścia do ataku - P^{LA} zależy od dokładności naprowadzania, zdolności manewrowej samolotu, możliwości celownika, poziomu wykształcenia pilota, prędkości i kierunku zbliżania oraz manewru celu. Wyraża się ono przez prawdopodobieństwo wejścia myśliwców w obszar strzelania do celu powietrznego i otwarcia ognia lub odpalenia

c/ Szczegółowe reguły i zależności funkcyjne wykorzystywane przy modelowaniu działania lotnictwa myśliwskiego przedstawiono w załączniku 8.

ia rakiet. Dla aktualnie występujących w uzbrojeniu samolotów myśliwskich /MiG-21, MiG-23/, w przypadku celów manewrujących $P^{LA} = 0,6-0,65$;

c/ pokonanie przeciwdziałania ogniowego nieprzyjaciela. Prawdopodobieństwo pokonania przeciwdziałania ogniowego - P^{LO} określa się na podstawie wzoru:

$$P^{LO} = \frac{PB^{LM}}{PB^{LM} + PB^{SNP}}$$

gdzie:

PB^{LM} - potencjał bojowy reprezentowany w walce przez samoloty myśliwskie;

PB^{SNP} - potencjał bojowy reprezentowany w walce powietrznej przez ŚNP danego celu;

d/ zniszczenie celu. W przypadku gdy zajdą zdarzenia a,b,c ocenia się prawdopodobieństwo zniszczenia celu - P^{LZ} . Przyjmuje się, że w przypadku gdy cele atakowane są przez samoloty myśliwskie pojedynczo $P^{LZ} = 0,7-0,95$, natomiast jeśli samolotów myśliwskich jest tak dużo, że cele mogą być atakowane parami to $P^{LZ} = 0,9-0,99$.

Jeśli samoloty myśliwskie nie są w stanie pokonać przeciwdziałania ogniowego nieprzyjaciela, to stroną wiodącą w walce powietrznej staje się nieprzyjaciel i losuje się z odpowiednim prawdopodobieństwem fakt zniszczenia samolotów myśliwskich.

W modelu przyjmuje się, że jeśli atakowanym celem nie były samoloty wydzielone do realizacji zadania osłony przed lotnictwem myśliwskim, to stoczenie walki powietrznej powoduje utratę części potencjału bojowego celu /wówczas jeśli nie zostały zniszczone ŚNP nieprzyjaciela/.

1.6. System oprogramowania symulacyjnego

Zaprezentowany w podrozdziałach II.1 i II.5 model symulacyjny został oprogramowany i zaimplementowany na EMC ODRA-1305^{x/}. System programowania eksploatowany jest użytkowo pod kryptonimem POSTĘP-3.

Skład systemu wchodzi następujące programy:

/ Opracowano dwie wersje oprogramowania przystosowane do wykorzystywania w zestawach EMC ODRA-1305 o różnych pojemnościach pamięci operacyjnej:

- wersję podstawową wymagającą 35 K słów PAO;

- wersję zmodyfikowaną wymagającą 128 K słów PAO.

Wersja zmodyfikowana wykonuje się około 2,5 raza szybciej.

- P01 - program wprowadzający dane opisujące całościowo sytuację operacyjno-taktyczną oraz dane stałe.
- P02 - program wytwarzający struktury danych niezbędne dla modelowania symulacyjnego, wykonujący przy tym dodatkowo takie operacje jak:
- "rozstawianie" w terenie grup sprzętu zgodnie ze strukturą organizacyjną i ugrupowaniem wojsk;
 - określanie sektorów odpowiedzialności dla poszczególnych kanałów celowania itp.
- P03 - program przeznaczony do wyprowadzenia i tabulacji wyników końcowych procesu symulacyjnego.
- P04 - program wykonuje wszelkie operacje związane z generowaniem modelu nalotu. Określa się w nim m.in.: podział wysiłku ŚNP nieprzyjaciela na zadania bojowe, wyznacza się obiekty uderzeń oraz skład grup uderzeniowych, czasowo-przestrzenną konfigurację nalotu itp.
- P05 - program statystycznej obróbki wyników uzyskiwanych w eksperymentach symulacyjnych połączonej z oceną wiarygodności rezultatów modelowania.
- RZ0 - program "przygotowujący" przebiegi symulacyjne. W programie tym: symuluje się funkcjonowanie podsystemu rozpoznania i wykrywania w połączeniu z oceną i uwzględnieniem wpływu zakłóceń radioelektronicznych stosowanych przez nieprzyjaciela na możliwości wykrywania i śledzenia celów; określa się możliwości zwalczania celów przez poszczególne pododdziały ogniowe; oraz ocenia się możliwości oddziaływania lotnictwa myśliwskiego na nieprzyjaciela powietrznego.
- MI0 - program "przygotowujący" przebiegi symulacyjne w zakresie modelowania działania śmigłowców uzbrojonych nieprzyjaciela. W programie tym określa się obiekty uderzeń dla śmigłowców, wyznacza się grupy uderzeniowe, a także czasowo-przestrzenne charakterystyki sposobu działania w rejonie wykonywania ataku /miejsca wykonywania ataku, trasy przelotu, czas ataku itp./.
- OR0 - program pomocniczy sortujący zdarzenia symulacyjne w kolejności odpowiadającej chronologicznemu przebiegowi zdarzeń.
- YM0 - podstawowy program symulacyjny. W programie tym, metodą kolejnych zdarzeń wykonuje się przedsięwzięcia związane z symulacyjnym modelowaniem podstawowych zdarzeń i zjawisk wy-

stępujących podczas walki systemu OPL z nieprzyjacielem powietrznym.

W programie SYMØ wyróżniono następujące rodzaje zdarzeń:

- wejście grupy samolotów w strefę ognia kanału celowania;
- wejście śmigłowców uzbrojonych w strefę ognia kanału celowania;
- wykonywanie uderzeń na obiekty przez grupy samolotów;
- wykonywanie uderzeń na obiekty przez śmigłowce uzbrojone nieprzyjaciela;
- stoczenie walki powietrznej;
- zniszczenie samolotu;
- spowodowanie utraty potencjału bojowego samolotu;
- zniszczenie śmigłowca;
- spowodowanie utraty potencjału bojowego śmigłowca;
- dotarcie informacji o celu do ognia decyzyjnego;
- podejmowanie w ogniwie decyzyjnym decyzji dotyczących zwalczania celu;
- przekazywanie informacji decyzyjnych podwładnym.

W oparciu o programy wchodzące w skład systemu POSTĘP-3 można konywać różne warianty przebiegów symulacyjnych, dobierając je odnie z potrzebami procesu badawczego. Podstawowy cykl przebiegu symulacyjnego przedstawia schemat.

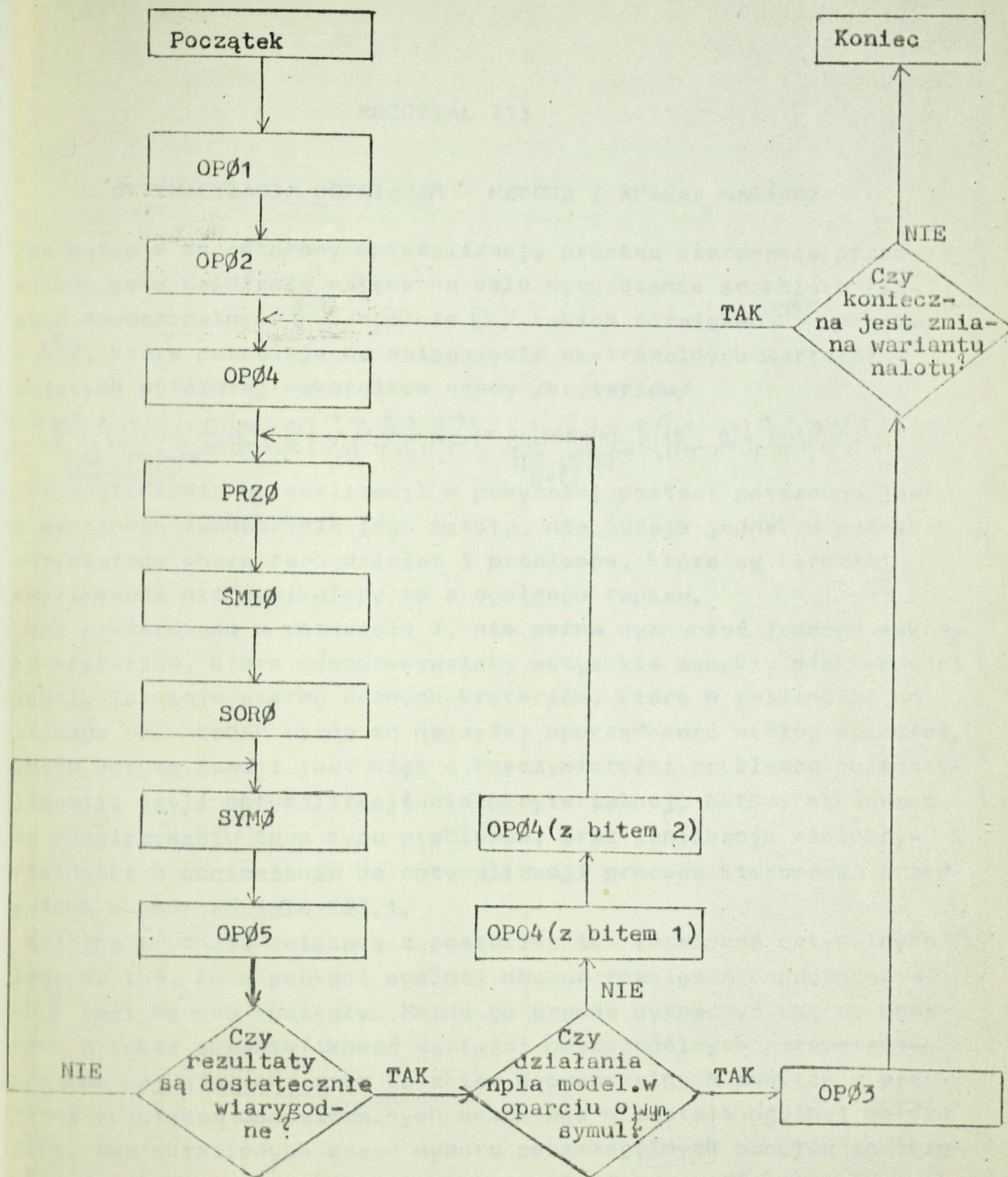
O rozmiarze zagadnień związanych z komputerowym symulowaniem walki systemu OPL z nieprzyjacielem powietrznym w systemie POSTĘP-3 świadczą może fakt, że programy tego systemu zawierają łącznie około 15 000 instrukcji kodu źródłowego w języku FORTRAN, a dane stałe, to około 9 000 różnych wskaźników liczbowych.

Złożoność modelu symulacyjnego w połączeniu z ograniczoną mocą liczeniową zestawu ODRA-1305 powoduje, że pojedynczy cykl symulacyjny np. przy obliczeniach dotyczących odpierania nalotu 320 samolotów na szczyblu frontu trwa odpowiednio:

- w wersji podstawowej ponad 9 godzin;
- w wersji zmodyfikowanej prawie 4 godziny.

Fakt długiego wykonywania się obliczeń w połączeniu z ograniczonym resem czasu na EMC ma swoje implikacje wyrażające się m.in. koniecznością łagodnego stawiania wymagań na wiarygodność rezultatów. Szerzej aspekty tego zagadnienia przedstawiono w rozdziale IV.

SCHEMAT CYKLU MODELOWANIA SYMULACYJNEGO



ROZDZIAŁ III

OPTYMALIZACJA ROZWIĄZAŃ - METODA I APARAT BADAWCZY

We wstępie do rozprawy optymalizację procesu kierowania przedstawiono jako działanie mające na celu wyznaczanie ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych P^k /ogólnie D / takich rozwiązań P^{kk} /ogólnie X^* /, które pozwalają na osiągnięcie ekstremalnych wartości przyjętych wcześniej wskaźników oceny /kryteriów/

$$P^{kk} \subset P^k: \Lambda \quad E(\{P_1^{kk}, \dots, P_k^{kk}\}, \vec{p}_1^0, \vec{p}_2^0, \vec{p}_3^0, \vec{p}_4^0, \vec{N}, \vec{Z}) = \text{extremum}_{\{P_1^{kk}, \dots, P_k^{kk}\} \in P^{kk}} E(\{P_1^k, \dots, P_k^k\}, \vec{p}_1^0, \vec{p}_2^0, \vec{p}_3^0, \vec{p}_4^0, \vec{N}, \vec{Z})$$

Przedstawienie optymalizacji w powyższej postaci potrzebne jest dla wyraźnego zaznaczenia jego istoty, nie oddaje jednak w pełni rzeczywistego charakteru działań i problemów, które są bardziej komplikowane niż wynikałoby to z ogólnego zapisu.

Jak stwierdzono w rozdziale I, nie można wyznaczyć jednego wskaźnika-kryterium, które odwzorowywałoby wszystkie aspekty efektywności i jakości. Istnieje szereg różnych kryteriów, które w zależności od leżącego celu badań można co najwyżej uporządkować według ważności. Problem optymalizacji jest więc w rzeczywistości problemem polioptymalizacji, czyli optymalizacji wielokryterialnej. Metody stosowane przy rozwiązywaniu tego typu problemów, oraz implikacje wielokryterialności w odniesieniu do optymalizacji procesu kierowania przedstawiono w podrozdziale III.1.

Kolejna trudność związana z poszukiwaniem rozwiązań optymalnych polega na tym, że w postaci ogólnej obszar rozwiązań dopuszczalnych D jest bardzo rozległy. Można co prawda wyznaczyć szereg ograniczeń a także skwantyfikować wartości poszczególnych parametrów-zmenników wejściowych; mimo to zbiór dopuszczalnych punktów w przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych pozostaje w postaci ogólnej bardzo liczny. Bez określonych zasad wyboru poszczególnych punktów ze zbioru D , działania optymalizacyjne stają się żmudne, długotrwałe i kosztowne - przez co w praktyce nierealizowane.

Przypadkowy dobór poszczególnych wariantów do badań może spowodować nie tylko wydłużenie ich w czasie oraz przeoczenie istotnych wariantów badanego procesu /systemu/, ale istotnie zwiększa koszt

rowadzenia badań. Wynika to z faktu, że nieznaną jest jawna postać zależności funkcyjnej wiążącej parametry-czynnik wejściowe, z wartościami odpowiednich wskaźników efektywności-kryteriami. Dla każdej pary /wartości wielkości wejściowych; wartości wielkości wyjściowych/ konieczne jest więc wykonywanie empirycznych obserwacji - drodze specjalnych eksperymentów na modelu symulacyjnym lub przez badania poligonowe. Zasady doboru wariantów procesu/systemu/do badań optymalizacyjnych mają więc istotne znaczenie. Niektóre związane z tym zagadnienia przedstawiono w podrozdziale III.2.

Model systemu obrony przeciwlotniczej wykorzystywany w procesie badawczym jest modelem symulacyjnym opracowanym w oparciu o tzw. metody Monte-Carlo. Procesy stochastyczne modelowane są w oparciu o eksperymenty bazujące na liczbach pseudolosowych generowanych według założonych rozkładów prawdopodobieństwa. W związku z tym rezultaty otrzymywane w eksperymentach symulacyjnych są wybranymi realizacjami wielowymiarowych zmiennych losowych. Stąd też pojedyncze wartości danych wyjściowych w poszczególnych eksperymentach mogą znacznie różnić się między sobą, oraz odbiegać od wartości średnich. Do oceny rezultatów otrzymywanych podczas badania symulacyjnego należy więc wykorzystywać aparat statystyki matematycznej. W podrozdziale III.3 przedstawiono zagadnienia związane ze statystyczną obróbką danych oraz oceną wiarygodności rezultatów uzyskiwanych podczas eksperymentów symulacyjnych. Przedstawiono tam także wybrane zagadnienia związane z oceną realności /adekwatności/ modelu systemu obrony przeciwlotniczej.

Brak jawnej postaci zależności funkcyjnej wiążącej parametry systemu /wielkości wejściowe/ ze wskaźnikami efektywności bojowej wielkościami wyjściowymi/ powoduje, jak to już podkreślano, konieczność wykonywania odpowiednich eksperymentów badawczych - zwykle na modelu systemu, a w wybranych fragmentach na realnym systemie. Stąd też postępowanie optymalizacyjne cechuje znaczne podobieństwo do badań doświadczalnych stosowanych w odniesieniu do obiektów technicznych. Oczywistym jest, że badania takie powinny być prowadzone wg zawniesionego planu. Metodologiczne i obliczeniowe aspekty statystyczne/ aspekty planowania i prowadzenia badań optymalizacyjnych przedstawiono w podrozdziale III.4.

Jeśli ilość danych w procesie optymalizacji wariantów rozwiązań jest ograniczona, bądź też jeśli czynniki wejściowe mają jakościowy charakter, nie ma potrzeby stosowania rozbudowanego aparatu teorii

lenowania doświadczeń. Pojawia się natomiast konieczność porównania eksperymentów, w których poszczególne obserwacje mają charakter probabilistyczny. Porównywanie eksperymentów szczególnie istotne jest wówczas, gdy ocenia się istotność wpływu wybranych parametrów, oraz przy porządkowaniu wariantów rozwiązań danego procesu systemu/ w kolejności odpowiadającej wartościom uzyskanych rezultatów /wg założonych z góry wskaźników-kryteriów/. W podrozdziale II.5 przedstawiono niektóre sposoby rozwiązywania zagadnień statystycznych związanych z tzw. porównywaniem i porządkowaniem eksperymentów.

II.1. Optymalizacja w warunkach wielorakości celów

W procesie optymalizacji procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych jednym z istotniejszych utrudnień jest konieczność równoczesnego uwzględniania kilku niewspółbieżnych celów. Wajduje to swój wyraz m.in. w istnieniu różnych kryteriów - wskaźników jakości systemu. W wyjątkowych tylko przypadkach poszczególne warianty rozwiązań mogą być uznane za jednoznacznie najlepsze tj. zapewniające optimum ze względu na wszystkie przyjęte kryteria jednocześnie. Wariant optymalny z punktu widzenia jednego kryterium zwykle jest gorszy z punktu widzenia innych kryteriów, co przy ich często równorzędnym charakterze utrudnia dokonywanie wyboru. Niezestrzygalność praktyczna problemu optimum wielokryterialnej funkcji celu sprawia, że kluczową kwestią przy podejmowaniu decyzji złożonych staje się zagadnienie określenia koncepcji optymalności rozwiązania. Postępy w dziedzinie polioptymalizacji aczkolwiek znaczne nie pozwalają jeszcze na ostateczne i jednoznaczne wytypowanie uniwersalnego modelu optymalizacji przy wielorakości celów. Istnieje jednak szereg metod, spośród których można wybierać najprzydatniejsze w wybranych warunkach. Prezentacja tych metod jest tematem niniejszego podrozdziału. Aby umożliwić jednoznaczność zapisu, a jednocześnie skrócić go w dalszej części opracowania, na wstępie przedstawiona będzie symbolika stosowana w tym podrozdziale^{x/}.

^{x/} Symbolikę stosowaną w podrozdziale III.1 przyjęto za pracę E.KO-NARZEWSKA - GUBAŁA "PROGRAMOWANIE PRZY WIELORAKOŚCI CELÓW" PWN W-wa 1980.

Symbolika ta jest celowo uproszczona w stosunku do przyjętej w innych częściach rozprawy po to, by łatwiej zaznaczyć istotę zagadnienia.

Określony jest zbiór rozwiązań dopuszczalnych - D . Rozpatruje się realizację K celów za pomocą rozwiązań \vec{x} ze zbioru D ($\vec{x} \in D$).
 Opień realizacji k -tego celu / $k=1,2,\dots,K$ / przez dowolne rozwiązanie $\vec{x} \in D$ wyrażony jest za pomocą wartości odpowiedniej składowej $f_k(\vec{x})$ funkcji wektorowej $F(\vec{x}) = [f_1(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})]$ $F(\vec{x}): D \rightarrow B \subset R^k$.
 Przez optymalną realizację k -tego celu w zbiorze D rozumie się ekstremalną /maksymalną lub minimalną/ wartość funkcji kryterium $f_k(\vec{x})$ osiąganą na tym zbiorze^{x/}.

Przyjęto nazywać optymalnym rozwiązaniem cząstkowym x_k taki war-
 nt rozwiązania, dla którego k -ta funkcja kryterium przyjmuje po-
 doną wartość ekstremalną

$$x_k \in D : f_k(x_k) = f_k^* = \text{extr}_{x \in D} f_k(x)$$

to miast wektor F^*

$$F^* = \begin{bmatrix} f_1^* \\ \vdots \\ f_k^* \end{bmatrix}$$

zywany będzie rozwiązaniem utopijnym w przestrzeni kryterialnej R^k
 wektor X^* , dla którego funkcja wektorowa przyjmuje wartość F^*

$$F(X^*) = F^*$$

zywany będzie rozwiązaniem utopijnym w przestrzeni rozwiązań R^1
 Warunkiem znalezienia optymalnego ciągu wartości składowych funk-
 i wektorowej $F(x)$ jest uporządkowanie wektorów w przestrzeni kry-
 rialnej R^k jak dotąd nauka nie zna jednak pojęcia porządku w prze-
 rzeni o liczbie wymiarów $k > 1$

Przykład:

Niech F ma dwie składowe tj. występują dwie funkcje kryterium
 $f_1(x)$ i $f_2(x)$. Nie ma ogólnej reguły pozwalającej na ocenę jakie
 rozwiązania są lepsze /wyżej oceniane/ a jakie gorze. Biorąc przy-
 ładowo trzy różne wektory $F : /3,2/ ./2,3/ ./5,3/$ i zakładając, że
 zbadanym ekstremum jest maksimum można stwierdzić, że wektor trze-
 /tj. /5,3/ góruje nad dwoma pozostałymi, gdyż wyższe są wartości
 obu współrzędnych, zupełnie natomiast niewiadomo jaką relację przy-
 ąć między wektorem pierwszym i drugim.

/ Poszczególne warianty rozwiązań $\vec{x} \in D$ określane są przez wektor
 wartości wyróżnionych parametrów systemu. Aby uprościć zapis sto-
 sowana będzie jedynie notacja X na oznaczenie wektora. W przypad-
 ku gdy mowa będzie o składowych X_i wektora $\vec{x} = [X_1, \dots, X_i, \dots, X_n]$ będzie
 to wyraźnie zaznaczane w tekście.

Rezygnując z optymalnej realizacji wszystkich lub tylko niektórych celów można ulepszać wyniki w odniesieniu do każdego z celów, przybliżać wartości poszczególnych funkcji kryteriów $f_k(x)$ do ich wartości ekstremalnych/ w taki sposób, aby nie wywrzeć ujemnego wpływu na stopień realizacji pozostałych.

Z takiej koncepcji powstał tzw. warunek optimum Pareta konieczny dla rozwiązań nazywanych w teorii: sprawnymi, efektywnymi lub polioptymalnymi.

Definicja:

Wektor dopuszczalny X^0 jest polioptymalny jeśli nie istnieje inny wektor dopuszczalny dla którego

$$F(x) \succ F(x^0)$$

należy rozumieć w ten sposób, że dla każdej składowej wektora zachodzi warunek:

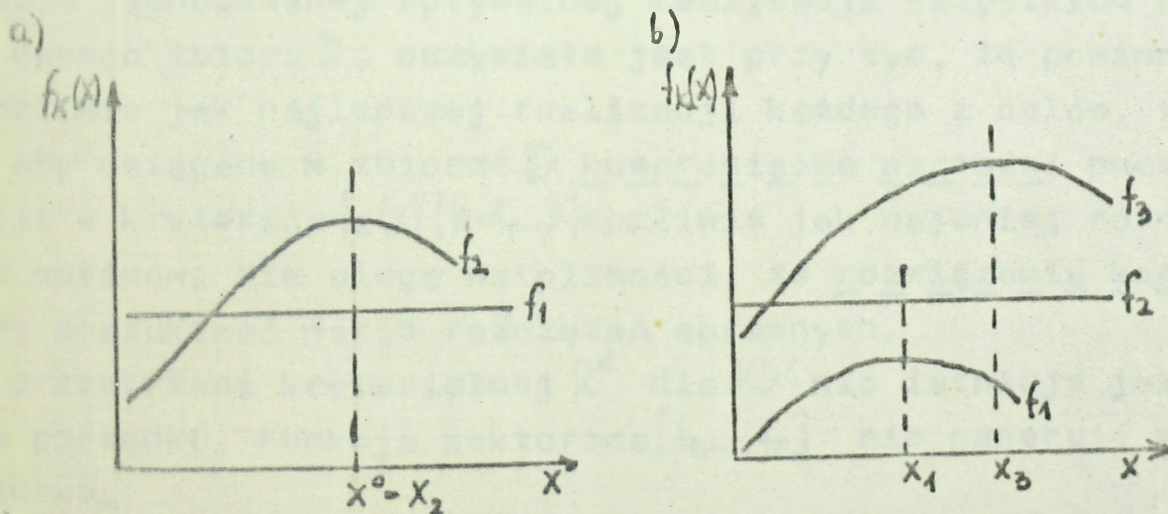
$$f_k(x) \geq f_k(x^0) \quad \text{dla } k=1, \dots, K$$

Kryterium Pareta należy interpretować jako poszukiwanie takiego rozwiązania X^0 , że przez wybór innego nie można poprawić wartości jednej z funkcji f_k bez pogorszenia wartości innych funkcji kryteriów.

Istnieje szereg twierdzeń pozwalających na generowanie zbioru rozwiązań sprawnych oraz sprawdzanie, czy dane rozwiązanie spełnia warunek optimum Pareta.

Przykład:

Na rys. III.1.1. zaznaczono dwa przypadki różnych przebiegów funkcji kryterium.



Rys. III.1.1.

w przypadku a/ jest tylko jedno rozwiązanie sprawne x_2 w punkcie optymalnego rozwiązania cząstkowego funkcji f_2 .

w przypadku b/ istnieją dwa różne punkty spełniające warunek minimum Pareta, są to punkty x_1 i x_3 odpowiadające optymalnym rozwiązaniom cząstkowym funkcji

Najkłopotliwszą własnością rozwiązań sprawnych jest ich wzajemna nierównowalność. Reguła Pareta nie pozwala na porównywanie wektorów których jedna ze składowych rośnie, a druga maleje. Warunek Pareta jedynie charakter warunku koniecznego optymalności rozwiązania.

Żna wskazać dwie zasadnicze okoliczności w związku z którymi podejmujący decyzję może nie być dostatecznie usatysfakcjonowany rozwiązaniem problemu w postaci zbioru rozwiązań sprawnych. Po pierwsze jeśli weźmie się pod uwagę często spotykany w praktyce przypadek nieskończoności zbioru dopuszczalnych rozwiązań oraz zbioru rozwiązań sprawnych, a nawet równości tych zbiorów, zrozumiałe jest, że skończony zbiór nieporównywalnych rozwiązań sprawnych nie może być wzięty za podstawę decyzji optymalnej wówczas, gdy mamy do czynienia z praktycznym wykorzystaniem modelu optymalizacji wektorowej.

Drugie charakterystyka rozwiązania problemu jedynie przez kryterium Pareta jest niedostateczna jeśli istnieje u podejmującego decyzję pewne wyobrażenie o tym jakie powinno być, lub nie powinno być rozwiązanie optymalizujące zbiór funkcji celów.

Należy wykorzystując wszelkie dostępne a priori informacje dążyć do określenia sensu kompromisowego rozwiązania optymalnego w przypadku wielości kryteriów. Wiadomo przy tym tylko, że trzeba zrezygnować z jednoczesnej optymalnej realizacji wszystkich celów w ramach danego zbioru D , oczywiste jest przy tym, że powinno się dążyć do możliwie jak najlepszej realizacji każdego z celów, tzn. starać się, aby osiągnąć w zbiorze D kompromisowe wartości poszczególnych funkcji - kryteriów $f_k(x)$ ($k=1, \dots, K$) możliwie jak najmniej różniły się od tych optimum. Nie ulega wątpliwości, że rozwiązania kompromisowego należy poszukiwać wśród rozwiązań sprawnych.

W przestrzeni kryterialnej R^K dla $K > 1$ nie istnieje jak wiadomo porządek. Funkcja wektorowa $[f_1, \dots, f_k]$ nie generuje więc porządku w zbiorze.

Problem uporządkowania zbioru D , w teorii polioptymalizacji rozwiązywa się przez wprowadzenie pewnej funkcji K nadrzędnej względem zbioru funkcji f_k takiej, że

$$K: D \rightarrow R$$

opuszcza się przy tym rozmaite sposoby określania zależności między K i f_1, \dots, f_k . Funkcja K może być superpozycją^{x/} funkcji wektorowej $[f_1, \dots, f_k]: D \rightarrow B$ i funkcji $g: B \rightarrow R^1$

Dla określenia postaci K konieczne jest ustalenie koncepcji optymalności. Osobliwość optymalizacji wielokryterialnej polega na tym, że konkretna treść pojęcia "rozwiązanie optymalnie kompromisowe" musi być ustalona oddzielnie dla każdego rozpatrywanego problemu. Przesłanką trafnego wyboru koncepcji optymalności rozwiązania jest rodzaj i ilość apriorycznej informacji^{xx/}, którą rozporządza się przy rozwiązywaniu konkretnego problemu, dotyczącej uwzględnionych w modelu celów decyzji i relacji między nimi.

Pod względem charakteru informacje aprioryczne dzielą się na:

a/ informacje o ważności poszczególnych f_k zgodnie z preferencjami w zbiorze odpowiadających im celów;

b/ informacje o związkach między funkcjami - kryteriami wynikających z ich treści i jakościowych zależności w zbiorze rozpatrywanych celów;

c/ informacje o minimalnie zadowalającym poziomie wartości funkcji f_k ($k=1, \dots, K$) określające dopuszczalne granice substytucji między poszczególnymi celami;

d/ dla spójności dalszych rozważań przypadek braku informacji apriorycznej wyodrębniono jako wariant d/.

Dla uniknięcia niejasności warto zaznaczyć, że przez "treść" kryterium rozumie się konkretną interpretację /np.: ilość zniszczonych ŚNP, wartość strat obiektów itp./ danej funkcji - kryterium. natomiast terminu "ważność" używa się w sensie wiązania z poszczególnymi kryteriami /celami/ określonych wag, rang, ocen wartości względnej.

W zagadnieniach programowania wielokryterialnego można wyodrębnić tęć zasadniczych klas zadań ze względu na zakres i sposób wykorzystania wymienionych rodzajów informacji apriorycznej. Klasy zadań

x/ Przykładem takiej funkcji jest K zdefiniowane jako suma ważona poszczególnych funkcji - kryteriów f_k dla $k=1, \dots, K$

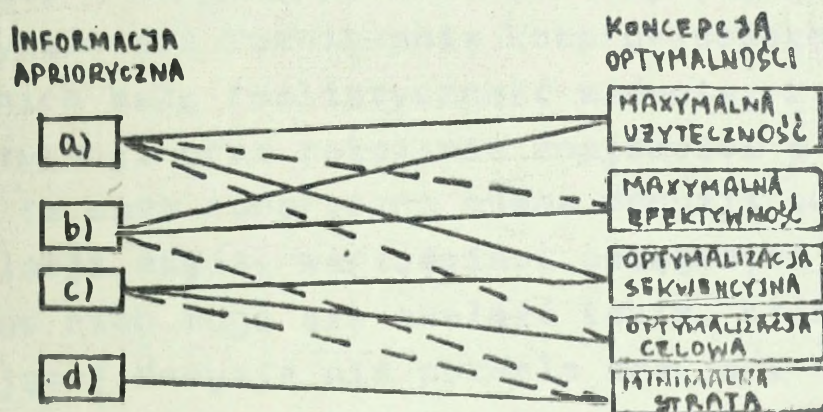
$$K(x) = \sum_{k=1}^K v_k \cdot f_k(x)$$

xx/ Informacja taka pozwala przyjąć np.: założenie o substytucji niektórych celów. Niekiedy aksjomat substytucji odrzucany jest całkowicie gdy w ramach informacji uzupełniającej określona zostaje hierarchiczna struktura w zbiorze celów, a tym samym w zbiorze odpowiadających im funkcji - kryteriów.

odpowiadają następującym koncepcjom rozwiązania optymalnie kompromisowego:

- 1/ koncepcji maksymalnej użyteczności,
- 2/ koncepcji maksymalnej efektywności^{x/},
- 3/ koncepcji optymalizacji sekwencyjnej,
- 4/ koncepcji optymalizacji celowej,
- 5/ koncepcji minimalnej straty.

Powyższą systematyzację można przedstawić w formie następującego schematu



Rys. III.1.2.

Linia ciągła oznacza obligatoryjny dla danej koncepcji rodzaj informacji apriorycznej, a linia przerywana oznacza informację o charakterze fakultatywnym w rozważonym zagadnieniu. Wystąpienie tego rodzaju "nadmiaru" informacji prowadzi najczęściej do przyjęcia poszukiwanej koncepcji optymalności. W dalszej części w sposób ogólny przedstawiono poszczególne koncepcje.

II.1.1. Koncepcja maksymalnej użyteczności

W zadaniach formułowanych zgodnie z koncepcją maksymalnej użyteczności, zgodnie z ustaleniami teorii użyteczności addytywnej, funkcja kompromisu przyjmuje postać ważonej sumy rozpatrywanych funkcji. Metodą sumowania wartości poszczególnych kryteriów jest "powinowatwo" wyrażanych przezeń treści /informacja typu b// oraz znajomość ocen ważności każdej funkcji w porównaniu z pozostałymi /informacja typu a//, innymi słowy, żąda się spełnienia założenia o porównywalności skal wartości poszczególnych funkcji f_k . Informacja

/ Pojęcie "efektywność" w tym kontekście używane jest w znaczeniu zbliżonym do prakseologicznie pojmowanej ekonomiczności.

ypu c/ ma charakter fakultatywny, zadaniem jej jest uchylenie aksjomatu nieograniczonej substytucji celów.

Funkcja K przyjmuje następującą postać^{x/}.

$$K(x) = g[f_1(x), \dots, f_k(x)] = \sum_{k=1}^K V_k \cdot f_k(x) \rightarrow \max$$

wektor $V = [V_1, \dots, V_k]$ spełnia warunki

$$V \in P^+ = \left\{ V : V_k \geq 0, \sum_{k=1}^K V_k = 1 \right\}$$

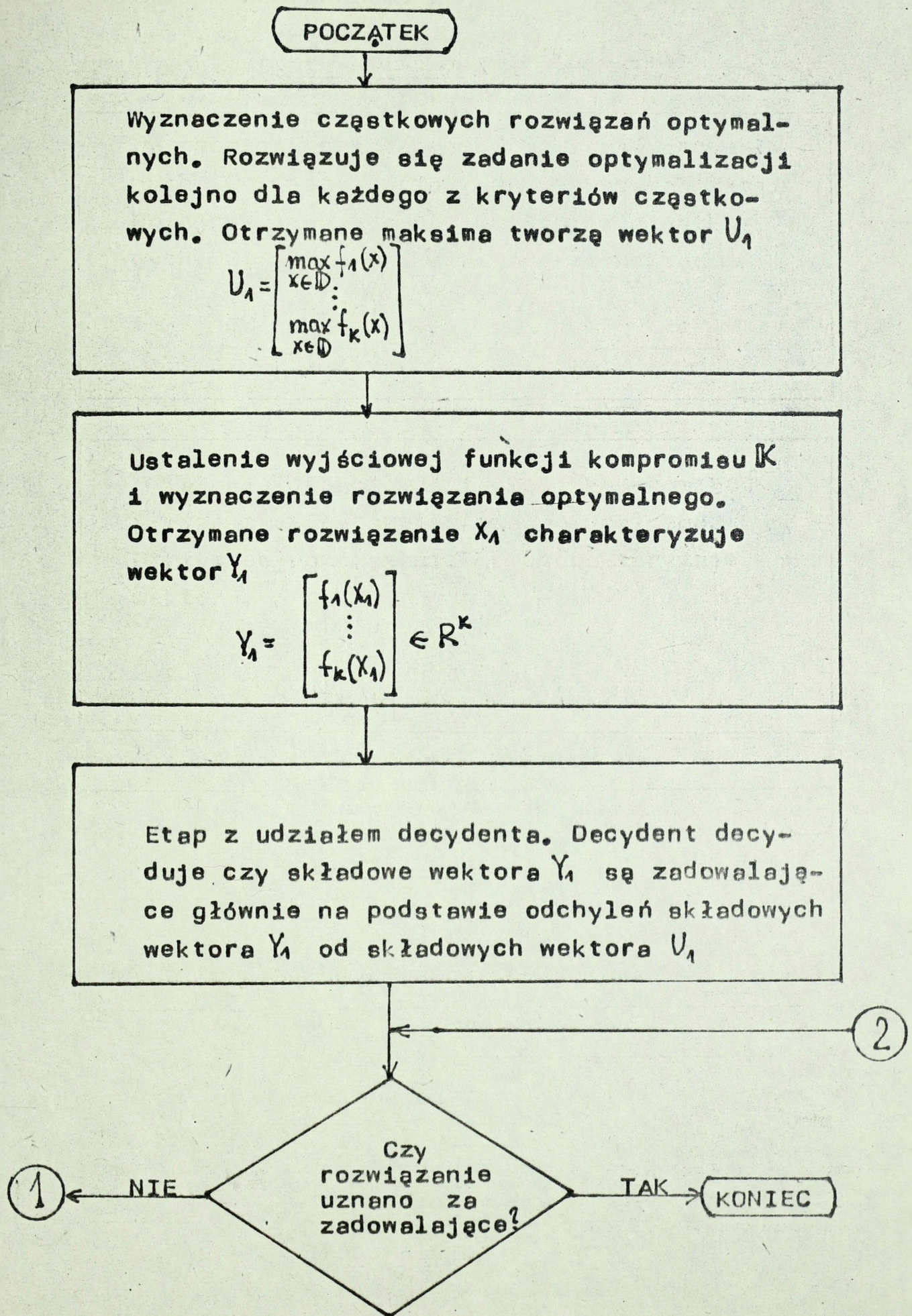
Wartości V_k dobierane są w drodze arbitralnego ustalenia na podstawie dostępnych a priori informacji o względnej ważności każdej z funkcji f_k .

W wielu pracach można spotkać się z krytyką przedstawionej wyżej koncepcji optymalności rozwiązania kompromisowego. Najczęściej podkreśla się w nich małą realistyczność zadania, z uwagi na przyjęty aksjomat substytucji oraz założenie znajomości a priori wektora wag. Zeczywiście, ta sama sumaryczna ocena decyzji odpowiada różnym przypadkom relacji między wartościami osiąganymi przez poszczególne kryteria. Wśród nich mogą się znaleźć takie, których zdrowy rozsądek osoby podejmującej decyzje nie pozwala przyjąć. Nowe koncepcje w tym zakresie wychodzą naprzeciw powszechnie wyrażanej opinii, że metody badań operacyjnych są tylko pomocą i narzędziem przy podejmowaniu decyzji a właściwą decyzję podejmuje człowiek. Najciekawsze z proponowanych odmian koncepcji maksymalnej użyteczności to metody tzw. programowania konwersacyjnego. Polegają one na włączeniu do procesu optymalizacji decydenta, który ocenia rezultaty otrzymywane w kolejnych etapach procesu optymalizacji i w przypadku gdy nie przyjmuje proponowanego rozwiązania podaje wskazówki do wypracowania nowego wektora wag $[V_1, \dots, V_k]$. Metody te mają różne odmiany. Poniżej przedstawiona jest jedna z nich w celu zilustrowania zasady postępowania.

x/ Taką postać funkcji występuje wówczas, gdy wszystkie funkcje f_k są maksymalizowane. Jeśli J funkcji jest maksymalizowanych oraz $K-J$ funkcji jest minimalizowanych, to globalne kryterium może mieć postać

$$K(x) = \sum_{k=1}^K V_k \cdot W_k(f_k(x)) = \sum_{k=1}^J V_k \cdot [f_k^* - f_k(x)] + \sum_{k=J+1}^K V_k [f_k(x) - f_k^*] \rightarrow \min$$

**SCHEMAT POSTĘPOWANIA W METODZIE PROGRAMOWANIA
KONWERSACYJNEGO**

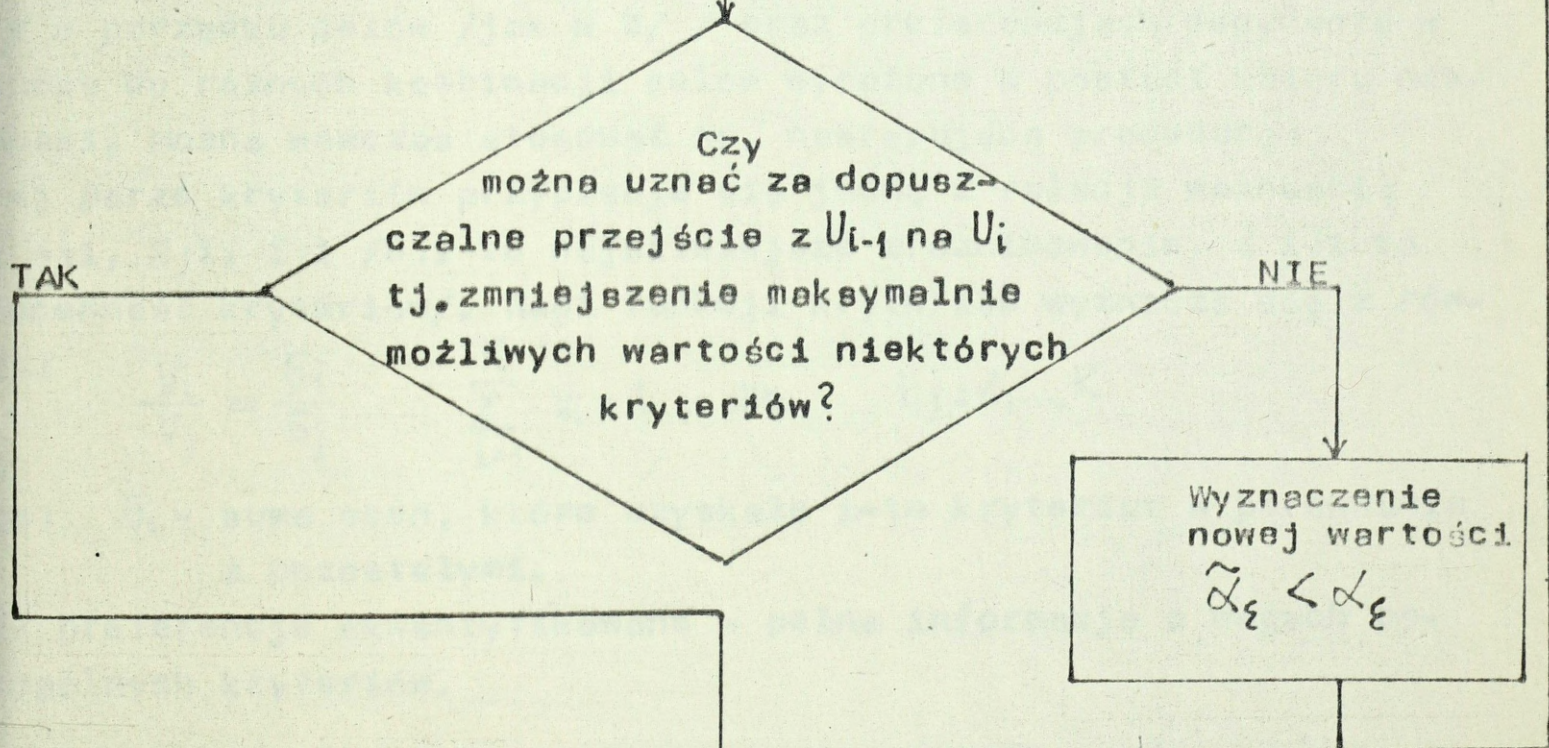


1

Wskazanie przez decydenta tej funkcji kryterium $f_{\xi}(x)$, która przyjmuje najmniej zadowalającą wartość oraz określenie minimalnej zadowalającej wielkości dla funkcji $f_{\xi}(x)$ takiej, że jeśli $f_{\xi}(x) \geq \alpha_{\xi}$, to funkcja $f_{\xi}(x)$ osiąga zadowalającą poziom wartości.

Wyznaczenie nowego zbioru rozwiązań dopuszczalnych D_1 przez włączenie ograniczenia $f_{\xi}(x) \geq \alpha_{\xi}$

Wyznaczenie nowego wektora częstkowych rozwiązań optymalnych U_i



W nowym obszarze rozwiązań dopuszczalnych /z ograniczeniem $f_{\xi}(x) \geq \tilde{\alpha}_{\xi}$ /maksymalizacja globalnej funkcji kryterium K i otrzymanie wektora Y_i

2

w koncepcji maksymalnej użyteczności centralnym zagadnieniem jest dobór współczynników wagowych dla każdej funkcji kryterium, wyrażających określoną hierarchię w zbiorze celów. Jest to jednocześnie jeden z najbardziej dyskusyjnych aspektów problemu podejmowania decyzji złożonych. W literaturze podano ogólne wskazówki doboru wag oraz dane o analizie doświadczeń uzyskanych we wcześniejszych badaniach głównie dotyczących problematyki ekonomicznej/.

Można wyróżnić następujące warianty informacji o ważności celów:

- a/ preferencje zerowe - przypadek w którym decydent nie potrafi powiedzieć o hierarchii w zbiorze celów - przypadek najtrudniejszy;
- b/ preferencje uporządkowane - tzn. można uporządkować cele od ważniejszego do najmniej istotnego.

Wagi można wówczas wyznaczyć np. z następującego wzoru:

$$V_k = \frac{2 \cdot (K - k + 1)}{K \cdot (K + 1)}$$

gdzie: K - ilość kryteriów

k - pozycja kryterium w hierarchii.

c/ preferencje w postaci zbioru nierówności - dostępne są informacje o porządku celów /jak w b/ / oraz preferencjach decydenta w stosunku do różnych kombinacji celów wyrażone w postaci zbioru nierówności. Można wówczas stosować np. następującą procedurę:

każdej parze kryteriów przypisuje się jedną z relacji ważności:

1:1, 4:1, 2:1, 1:1 /8:1 to najsilniejsze zróżnicowanie, a 1:1 to

rownościenność kryteriów/. Wagi funkcji kryteriów wyznacza się z równo-

ści:

$$\frac{V_i}{V_j} = \frac{\sigma_i}{\sigma_j} \quad \sum_{i=1}^K V_i = 1 \quad \text{dla} \quad i, j = 1, \dots, K$$

gdzie: σ_i - suma ocen, które uzyskało i -te kryterium w porównaniu z pozostałymi.

d/ preferencje skwantyfikowane - pełna informacja o wagach poszczególnych kryteriów.

I.1.2. Koncepcja maksymalnej efektywności

Możliwość formowania zadań optymalizacji wielokryterialnej w oparciu o koncepcję maksymalnej efektywności powstaje w przypadku niepełnego dostępowania informacji o treści funkcji - kryteriów, która pozostaje w niepełnej ich agregacji do ilorazowej postaci funkcji kompromisu^{x/}.

Np. w problemach ekonomicznych może to być relacja $\frac{\text{koszt}}{\text{efekt}}$.

Najłatwiejsza do wyjaśnienia jest ta koncepcja na przykładzie u funkcji - kryteriów z których jedną należy maksymalizować ($x \rightarrow \max$) a drugą minimalizować. Funkcja kompromisu może wówczas przyjąć np. następującą postać:

$$K = \frac{f_1(x)}{f_2(x)}$$

zachodzi przy tym

$$K \leq \frac{\hat{f}_1}{\hat{f}_2}$$

zle:

$$\hat{f}_1 = \max f_1(x)$$

$$\hat{f}_2 = \min f_2(x)$$

żliwa jest także agregacja więcej niż dwu funkcji kryteriów do etaci ilorazu, jeśli:

- ze względu na treść można wszystkie kryteria podzielić na dwie upy odpowiadające dwu członom relacji: wyniki - nakłady;
- spełnione są warunki porównywalności skal wartości funkcji wy- epujących jednocześnie w liczniku lub mianowniku.

o przykład trzech kryteriów cząstkowych:

$$f_1(x) \rightarrow \max, \quad f_2(x) \rightarrow \min, \quad f_3(x) \rightarrow \min$$

$$K = \frac{f_1(x)}{f_2(x) \cdot f_3(x)}$$

Koncepcję maksymalnej efektywności oraz koncepcję maksymalnej yteczności łączy analogiczny sposób tworzenia funkcji K , a mia- wicie agregacja uwzględnionych funkcji kryteriów przez działania gebracyjne, wykonalne - z uwagi na istnienie funkcji porównywal- ści /użyteczności/ - w przestrzeni kryterialnej.

I.1.3. Koncepcja optymalizacji sekwencyjnej

Koncepcję sekwencyjnie składanej funkcji kompromisu stosuje się warunkach ustalonej ścisłej hierarchii ważności celów oraz znajo- ści minimalnie zadowalających poziomów realizacji poszczególnych lów.

Ogólną zasadę postępowania w przypadku optymalizacji sekwencyj- j można przedstawić następująco:

Przy poszukiwaniu w zbiorze D rozwiązania zapewniającego maksi- m jednocześnie K funkcji najpierw wyznacza się cząstkowe rozwią- nie optymalne najważniejszej z nich zakładając, że przyjęta nu- racja celów f_k ($k=1, \dots, K$) odpowiada porządkowi wynikającemu z usta- nej hierarchii celów. Wyznacza się zatem

$$f_1^* = \max f_1(x)$$

stępnie, na podstawie znajomości minimalnie zadowalającej wartości funkcji $f_1(x)$ przyjmuje się rozsądny "poziom istotności" dla wartości funkcji, tj. dopuszczalne odchylenie a_1 od jej wartości optymalnej. Z kolei maksymalizuje się drugą co do ważności funkcję - kryterium tj. $f_2(x)$ w zbiorze takich $x \in D$, które spełniają nierówność

$$f_1^* - f_1(x) \leq a_1$$

opisany sposób wyznacza się warunkowe rozwiązania optymalne ze względu na kolejne funkcje celów, dołączając każdorazowo do zbioru ograniczeń nowy warunek.

Należy zauważyć, że przy stosowaniu reguły optymalizacji sekwencyjnej przez dołączenie dodatkowych warunków do zbioru ograniczeń wiązane zadanie na którymś z etapów może nie mieć rozwiązania dopuszczalnego /zwłaszcza przy większej liczbie uwzględnionych kryteriów/. W związku z tym zagadnieniem niektórzy autorzy przedstawiają "odwróconą" i zmienioną wersję przedstawionej procedury. Zgodnie z nią optymalizację rozpoczyna się od najmniej ważnego kryterium, a pozostałych ustala się wartości minimalnie zadowalające $\alpha_k (k=1, \dots, K)$ z $(K-1)$ warunków postaci

$$f_k(x) \geq \alpha_k \quad \text{dla} \quad k=1, \dots, K$$

gdzie dołącza się do ograniczeń wyznaczających D ustalając w ten sposób D_1 .

Jeżeli w pierwszym kroku nie znajdzie się rozwiązanie dopuszczalne, to należy zrezygnować z dotychczasowej funkcji celu i przyjąć następne z kolei, drugie co do ważności kryterium. Liczba dodatkowych warunków w związku z tym zmniejsza się o jeden. Postępuje się w ten sposób tak długo, aż znajdzie się rozwiązanie dopuszczalne. W szczególności może to być rozwiązanie otrzymane w ostatnim etapie optymalizacji, odpowiadającym maksymalizacji najważniejszej funkcji kryterium. Nie będzie to jednak rozwiązanie kompromisowe.

Generowane w sposób arbitralny podzbiory D_k nie gwarantują sprawności /w sensie optimum Pareta/ ostatecznego rozwiązania. Rozwiązanie polioptymalne można otrzymać przy założeniu, że zbiór wyjściowy D / jest zbiorem rozwiązań sprawnych.

Według niektórych autorów największym mankamentem opisanego sposobu procedury sekwencyjnej jest to, że mimo przyjętej hierarchii ważności celów uzyskane rozwiązanie optymalne może być położone bliżej częściowych rozwiązań optymalnych (f_k^*) celów z dalszej kolejności niż najbliższych pierwszemu celowi.

Aby zapobiec tej sytuacji proponuje się wprowadzić dodatkowo pomocnicze zadanie optymalizacji, polegające na minimalizacji współmiennika V /wyznaczeniu $V^* = \min V$ /określającego zmodyfikowany obszar $D = D(V)$ taki, że

$$D(V) \sim \begin{cases} A \cdot X = B \\ f_k(x) \geq (1-V) \cdot f_k^* \\ X \geq 0 \end{cases}$$

ten sposób w obszarze $D(V^*)$ wyróżnione j ($j < K$) pierwszych funkcji celowych odchyła się od wartości swych optimum'ów cząstkowych nie więcej niż o $V \cdot 100\%$.

1.1.4. Koncepcja optymalizacji celowej

Termin "programowanie celowe" został wprowadzony dla określenia nowego typu zadań programowania matematycznego zapewniających "możliwie najlepsze" zbliżenie się do zbioru celów jednocześnie nielegalnych.

W ogólnym przypadku zadanie optymalizacji celowej ma postać:

$$\min d(F(x), B) \quad \text{dla } x \in D$$

zde:

D - zbiór rozwiązań dopuszczalnych

$F = [f_1(x), \dots, f_k(x)]$ K - wymiarowa funkcja wektorowa o składowych funkcjach /kryteriach/ cząstkowych;

$B = [b_1, \dots, b_k]$ K - wymiarowy wektor stałych interpretowanych jako zbiór zadanych "docelowych" poziomów realizacji kryteriów cząstkowych;

d - odległość między B i $F(x)$ określona na podstawie wybranej wcześniej metryki. Najczęściej przyjmuje się metrykę w postaci sumy wartości absolutnych /bezwzględnych/ różnic między odpowiednimi składowymi F i B

$$\left(\text{np. } d(F(x), B) = \sum_{k=1}^K |f_k(x) - b_k| \right).$$

przypadku gdy dostępna jest informacja o ważności poszczególnych celów wykorzystuje się ją do określenia wag V_k odchylen $f_k(x)$ od b_k .

Zastosowanie aparatu optymalizacji celowej z wielu względów wydaje się korzystne. Jak można zauważyć decydent otrzymuje dodatkową informację o rodzaju i wielkości odchylen od akceptowanego poziomu

lizacji celów, ale zastosowanie procedur optymalizacji celowej wyznaczenia rozwiązania optymalnie kompromisowego w problemie optymalizacji wielokryterialnej może jednak dotyczyć tylko ograniczonej klasy zagadnień, w których cele cząstkowe można skwantyfikować i podać ich "docelowe" poziomy realizacji.

1.5. Koncepcja minimalnej straty

Brak lub niedostateczna ilość informacji apriorycznej, a także negatywny charakter, np. w przypadku informacji: "brak hierarchii w zbiorze celów", oznacza, że trzeba przyjąć, iż wszystkie kriteria mają tę samą wartość dla zagadnienia /są równoprawne/, a o budowę jednokryteriowego zadania właściwego optymalizacji wektorowej musi formalnie zapewnić spełnienie tego warunku. Ponieważ to w zasadzie jedyny warunek jaki musi spełniać zadanie ze słabą funkcją kompromisu, określenie warunków optymalności w takich zagadnieniach może być arbitralnie rozstrzygane przez badacza wiążącego dany problem.

Liczne propozycje rozwiązania optymalnie kompromisowego w warunkach informacji "zerowej" są w znacznym stopniu podobne do siebie i posługują się topologicznym pojęciem odległości między punktami w przestrzeni kryterialnej. Odległość ta interpretowana jest jako pewna miara strat wynikłych z tego, że do realizacji określonego celu przyjęte zostało rozwiązanie różne od rozwiązania optymalnego ze względu na ten cel. Różnice pomiędzy poszczególnymi koncepcjami polegają głównie na odmiennym definiowaniu miary odległości. Charakterystyka "jakości" dowolnego rozwiązania dopuszczalnego względem wektora funkcji - kryteriów $F(x) = [f_1(x), \dots, f_k(x)]$ w omawianej grupie zagadnień dokonywana jest przez określenie funkcji kompromisu w postaci funkcji dystansowych wyrażających się za pomocą następującego ogólnego wzoru

$$d_p(F(x)) = \left[\sum_{k=1}^K \left(\frac{f_k^* - f_k(x)}{S_k} \right)^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

gdzie: $S_k > 0$ są współczynnikami zapewniającymi porównywalność poszczególnych składowych.

szczególności dla danej decyzji X , jeśli

$p=1$, to $d_1(F(x))$ jest sumą wszystkich cząstkowych odchyleń względnych

$$d_1(F(x)) = \sum_{k=1}^K \frac{|f_k^* - f_k(x)|}{S_k}$$

2, to $d_2(F(x))$ jest stratą globalną w sensie metryki przestrzeni euklidesowej

$$d_2(F(x)) = \sqrt{\sum_{k=1}^K \left(\frac{f_k^* - f_k(x)}{S_k} \right)^2}$$

$= \infty$, to $d_\infty(F(x))$ jest maksymalną względną stratą cząstkową w sensie metryki Czebyszewa

$$d_\infty(F(x)) = \max_k \left\{ \frac{f_k^* - f_k(x)}{S_k} \quad \text{dla } k=1, \dots, K \right\}$$

Rozwiązanie optymalnie kompromisowe x_0^p, F^p zdefiniowane za pomocą transowej funkcji kompromisu $d_p(F(x))$ uzyskuje się jako rozwiązanie optymalne zadania

$$\min_{x \in D} d_p(F(x))$$

Uzyskiwane w ten sposób rozwiązania są dopuszczalne, kompromisowe dla $1 \leq p < \infty$ sprawne /w sensie optimum Pareta/.

Porównywalność poszczególnych składników sumy we wzorze uzyskuje się przyjmując zazwyczaj:

$$S_k = |\hat{f}_k| \quad \text{dla } k=1, \dots, K$$

lub

$$S_k = |\hat{f}_k - \check{f}_k| \quad \text{dla } k=1, \dots, K$$

gdzie: \hat{f}_k - wartość maksymalna k-tego kryterium,

\check{f}_k - wartość minimalna k-tego kryterium.

Łatwo dostrzec, że podejście drugie ma pewne konsekwencje natury liczeniowej, gdyż wymaga dokonania większej ilości działań w celu naczynia nie tylko \hat{f}_k ale i \check{f}_k .

1.6. Implikacje wielokryterialności w odniesieniu do działań optymalizacyjnych

Centralnym zadaniem w problemie optymalizacji wektorowej jest określenie koncepcji optymalności rozwiązania, tj. najbardziej rozsądnej w warunkach danego zagadnienia zasady postępowania. Na złożoność tego zadania składają się dwie okoliczności. Po pierwsze istnieje szeroka klasa koncepcji optymalności, z których należy wybrać bardziej "rozsądną". Po drugie określenie "rozsądna" może być rozumiane w najrozmaitszy sposób. Intuicyjnie za "rozsądną" należy uważać taką koncepcję, odstępienie od której okazuje się niewygodne. Met w oparciu o przedstawioną systematyzację i analizę rozmaitych

tepcji optymalności trudno o jednoznaczne podsumowanie przedstawionych propozycji. Rzeczą niemożliwą jest wytypowanie uniwersalnego modelu optymalizacji przy wielorakości celów, a nawet rekomendacji któregoś z nich, z tej prostej przyczyny, że nie istnieje aktywne kryterium oceny trafności wyboru funkcji kompromisu z teoretycznie nieograniczonej liczby postaci funkcji.

Stosunkowo popularny jest pogląd, że w zagadnieniach praktycznych można jest zazwyczaj a priori podać funkcję użyteczności, względne ważności lub hierarchię celów i w związku z tym najrozsądniejszym wyjściem jest przyjęcie założenia o równoprawności wszystkich funkcji celów i budowanie któregoś z modeli z funkcją strat. W opinii niektórych autorów^{x/} przyjęcie takiego założenia, jeśli wynika nie z informacji o faktycznej równoznaczności celów, lecz z braku jakiegokolwiek informacji, oznacza działanie nie mniej "desperackie", niż brak określenia hierarchii czy funkcji użyteczności. Praktyka wskazuje na to, że decydent zawsze ma chociażby najogólniejsze rozważania co do relacji wiążących cele podejmowanej decyzji, lecz z kolei musi włożyć znaczny wysiłek do "wydobycia" i skwantyfikowania tych informacji.

Poliptymalizacja jest kolejnym krokiem na drodze przybliżenia modeli do rzeczywistości i zwiększenia ich adekwatności. Przy konstruowaniu standardowego modelu zagadnienia optymalizacji wybiera się jeden cel uznany za najważniejszy i poszukuje jego optymalnej realizacji na zbiorze dopuszczalnych decyzji, rezygnując przy tym z pozostałych celów lub traktując je jako środki do realizacji wybranego celu. Kompromis w poliptymalizacji polega na tym, że w modelu uwzględnia się zbiór celów nie ekstremalizując realizacji żadnego z nich z osobna. Różnica między jednym podejściem a drugim polega zatem na tym, że w innym momencie występuje sytuacja wymagająca podjęcia arbitralnej decyzji, której zawsze towarzyszą trudności i wątpliwości. W przypadku zagadnienia jednokryterialnego sytuacja taka powstaje w chwili wyboru jednego kryterium optymalizacji i realizacji z pozostałych, przy modelach wielokryterialnych jest to moment wyboru koncepcji optymalności.

Oba zagadnienia mają identyczny, od strony formalnej, sposób rozwiązania. W obu przypadkach rozwiązanie problemu polega ostatecznie na rozwiązaniu zadania jednokryterialnego, co jeszcze raz potwier-

Np. E. KONARZEWSKA-GUBAŁA w wymienionej już pracy /39/.

oczywistą tezę, że w określonym momencie można optymalizować reakcję tylko jednego celu.

2. Dobór obszaru rozwiązań dopuszczalnych

kreślenie obszaru rozwiązań dopuszczalnych D czyli zbioru tych wariantów rozwiązań, które mają być badane, to jedno z kluczowych zadań w procesie optymalizacji.

W postaci ogólnej^{x/} obszar D jest bardzo rozległy, w niektórych przypadkach można go teoretycznie uznać za nieograniczony. Ponieważ znana jest postać zależności funkcyjnej, na podstawie któregoś określonego zestawu parametrów wejściowych można przyporządkowywać wartości odpowiednich wskaźników-kryteriów, to dla wyznaczenia wartości tych wskaźników trzeba wykonywać specjalne eksperymenty - wówczas, gdy to możliwe na systemie rzeczywistym, w pozostałych przypadkach na modelu systemu. Z tego względu wykorzystywanie w badaniach obszaru D w postaci ogólnej prowadzi do nieograniczonego rozrostu programu badań i nie jest realne. Dla badań praktycznych należy dokonywać wyboru podobezaru w D .

Proces selekcji wariantów rozwiązań nie może być dokonywany w sposób przypadkowy lecz przebiegać metodycznie i planowo.

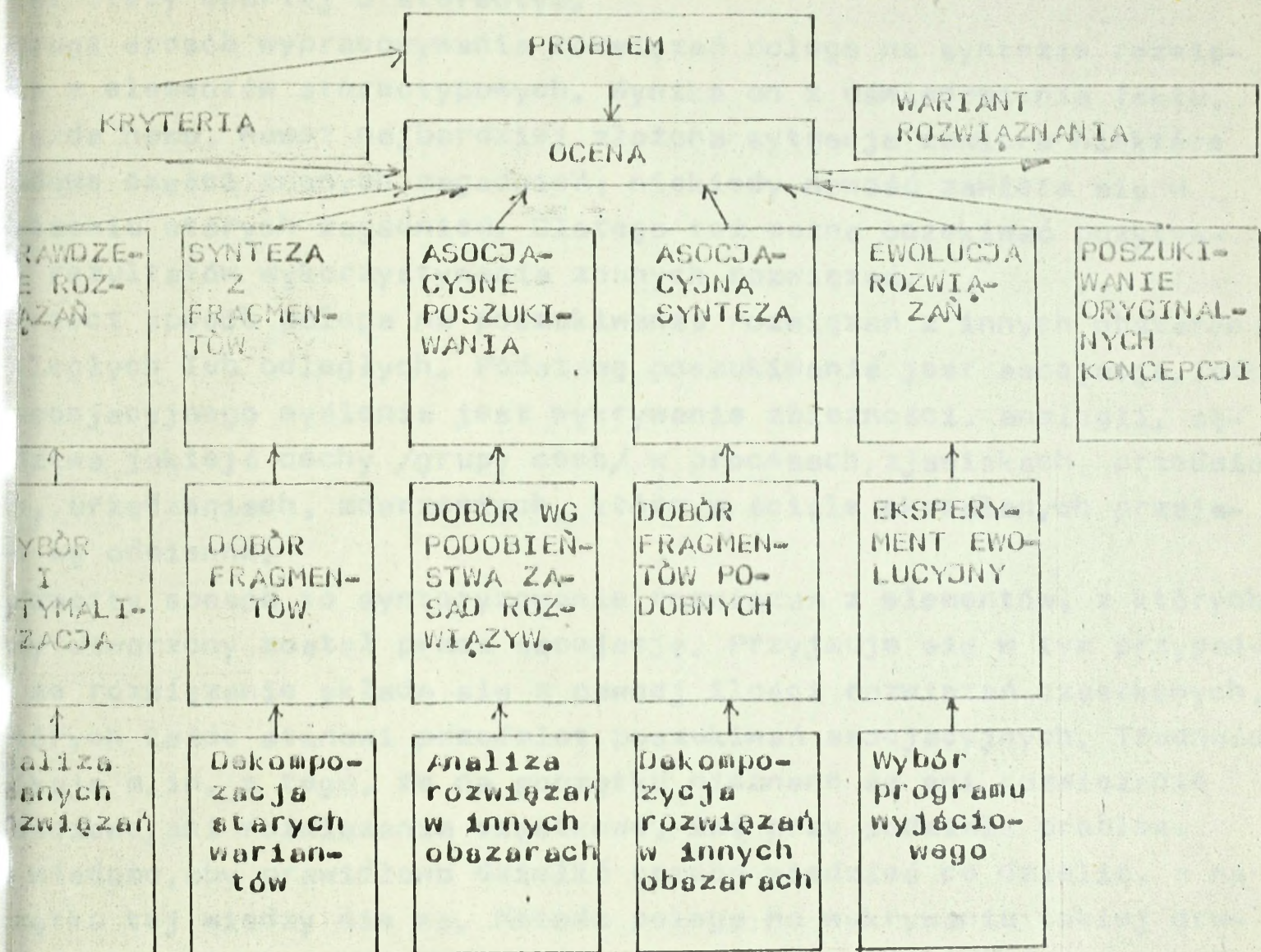
Należy przy tym uwzględniać dwie, w znacznym stopniu przeciwstawne konieczności. Z jednej strony niezbędne jest maksymalne ograniczenie wielkości obszaru D , z drugiej zaś nie powinno się a priori, ze względu na rutynę/ odrzucać koncepcji nieszablonowych i nowatorskich - gdyż łatwo w ten sposób zaprzepaścić szansę na wyznaczenie rozwiązań rzeczywiście najlepszych.

Oczywistym jest, że punktem wyjścia dla wszelkich rozważań jest obszar realnie istniejący. Zgodnie z prawami dialektyki postęp wynika z sprzeczności, dokonuje się przez ich usuwanie, ale zawsze powstaje w oparciu o dotychczasowe dokonania. Dlatego też obszar D powinien zawierać wariant rozwiązania odpowiadający stanowi aktualnie istniejącemu. Otwarty pozostaje problem jakie kierunki zmian należy wdrażać, oraz jak dalece odległe^{xx/} od pierwotnego mogą być dopuszczalne warianty rozwiązań.

W postaci ogólnej D jest iloczynem /produktem/ kartezjańskim podzbiorów zawierających dopuszczalne wartości poszczególnych parametrów wejściowych.

W sensie metryki np.: Czebyszewa określonej na punktach w przestrzeni D .

literaturze niewiele jest wskazówek na ten temat. Jedną z ogólnokoncepcji^{x/} wypracowywania wariantów rozwiązań można przedstawić pomocy następującego schematu:



Rys. III.2.1.

Pierwszy /oczywisty/ sposób wypracowywania rozwiązań zasadza się na sprawdzeniu przydatności któregoś z wcześniej stosowanych typów stereotypowych rozwiązań. Metoda ta w procesie optymalizacji może mieć najwięcej zastrzeżeń. Istnieje jednak szereg przykładów, np. jak stare /lecz nie przestarzałe/ sposoby postępowania, zawierające niektóre nowe elementy, prowadziły do dużych osiągnięć. W każdym sposobie działania, nawet najbardziej powszechnie znanym i obrze opracowanym, są momenty których ważność zależy od sytuacji i jest określona sposobem wykonania. Prawidłowe rozstawienie akcen-

 Ing. W.W. Drużinin, D.S. Kontorow "Woprosy Wojennoj Sistiemoj
 "Woprosy Wojennoj Sistiemoj" Wojennoje Izdatielstwo MO ZSRR Moskwa 1976. Rozdział 5.
 (Tłumaczenie własne).

wydzielenie wiodącego elementu postępowania, nadanie mu należnego znaczenia i wagi - to podstawowe zagadnienia przy wypracowywaniu hipotezy opartej o stereotyp.

Drugi sposób wypracowywania rozwiązań polega na syntezie rozwiązań z elementów stereotypowych. Wynika on z uświadomienia faktu, że każda nowa, nawet najbardziej złożona sytuacja zawiera niektóre nowe części znanych zagadnień; niekiedy nowość zawiera się w połączeniu starych zagadnień. Dlatego też można oczekiwać pozytywnych rezultatów wykorzystywania znanych rozwiązań.

Trzeci sposób polega na poszukiwaniu rozwiązań z innych obszarów: bliższych lub odległych. Podstawą poszukiwania jest asocjacja. Istotną cechą asocjacyjnego myślenia jest wykrywanie zbieżności, analogii, sąsiedztwa jakiejś cechy /grupy cech/ w procesach, zjawiskach, przedmiotach, urządzeniach, zdarzeniach, które w ściśle określonych przejawach są odmienne.

Czwarty sposób to syntetyzowanie rozwiązań z elementów, z których kiedyś utworzony został przez asocjację. Przyjmuje się w tym przypadku, że rozwiązanie składa się z pewnej ilości rozwiązań cząstkowych, z których każde stanowi przedmiot poszukiwań asocjacyjnych. Trudności wynikają m.in. z tego, że na początku nieznane są ani rozwiązanie całościowe, ani rozwiązania cząstkowe, zaś przy podziale problemu wiadomo, aby prawidłowo dzielić trzeba wiedzieć co dzielić, a na początku tej wiedzy nie ma. Metoda polega na wykrywaniu takiej grupy różnorodnych zjawisk /obiektów, procesów/, które zawierałyby elementy, stanowiące materiał do rozwiązania, przy czym każde zjawisko ma być zbieżne z daną sytuacją według jednej cechy lub grupy cech. Piątą metodę można nazwać ewolucyjną. Jej ideę można przedstawić następująco. Jeden z wcześniej przedstawionych sposobów wykorzystuje się dla przygotowania "bazowego" wariantu rozwiązania problemu, rozwiązania bliskiego danemu, lecz uproszczonego. Wariant bazowy, jakkolwiek nieprzydatny dla rozwiązania problemu podstawowego, wykorzystywany jest jako punkt wyjścia. Doskonalenie wariantu bazowego dokonuje się drogą stopniowych /ewolucyjnych/ lub skokowych /mutacyjnych/ modyfikacji: włączania uzupełniających elementów, odrzucania elementów szkodliwych lub niepotrzebnych, rozwoju perspektywicznych czynników. U podstaw modyfikacji leży asocjacja. W rezultacie celowej ewolucji lub mutacji można dojść do hipotezy pozwalającej na rozwiązanie danego zagadnienia. Tak wygląda ogólna idea, realizacja istotnie zależy od jakości wyjściowego rozwiązania,

onalnego wyboru podstawowego kierunku jego doskonalenia i
tywności zmian.

złoty sposób polega na poszukiwaniu oryginalnego zasadniczo no-
rozwiązania, opartego o nową koncepcję.

"technologicznego" punktu widzenia w procesie określania zbioru
związków dopuszczalnych można wyróżnić dwie podstawowe grupy za-
ień:

do pierwszej grupy zaliczają się problemy związane z poszukiwa-
i wyznaczeniem nowych, często nieznanych lub niedostrzegalnych
czas rozwiązań;

w skład drugiej grupy wchodzi zagadnienia związane z oceną i
ściowaniem licznego zbioru wszelkich dopuszczalnych wariantów
ięzań po to, aby przez odrzucenie rozwiązań najsłabszych, ogra-
yć do rozsądnej^x/ wielkości ilość tych, które badane będą do-
niej.

ależy zwrócić uwagę, że większość metod, uwag i wskazówek do-
nych w literaturze przedmiotu dotyczy zagadnień z pierwszej
y. W szczególności godne polecenia są popularyzowane ostatnio
dy heurystyczne, które będą przedstawione w dalszej części pod-
ziału.

rzy rozwiązywaniu zagadnień z drugiej grupy podstawowym narzę-
em jest doświadczenie i intuicja eksperta /grupy ekspertów/.
na podejrzewać, że brak szerszych informacji w literaturze doty-
cych tej grupy zagadnień wynika z dążenia do zachowania "tajemni-
firmy":

Brak tych informacji jest faktem równoznacznym w tym przypadku
takim metod.

W ostatnich latach intensywnie rozwija się heurystyka - czyli
cyplina naukowa zajmująca się poszukiwaniem rozwiązań, tworze-
niem hipotez, dokonywaniem wynalazków i odkryć, a w szerszym sen-
właściwościami i prawami twórczego myślenia, powstawaniem no-
wych czynności, metod i reguł działania w nowych warunkach /tzw.
sytuacjach problemowych/. Wymyślono i sprawdzono w praktyce wiele
metod heurystycznych. Niektóre z nich mimo pozorów infantylizmu mo-
być przydatne przy rozwiązywaniu problemów związanych z optyma-
zacją procesu kierowania, szczególnie w zakresie poszukiwania po-
żółów oraz tworzenia wariantów rozwiązań.

Tzn. umożliwiającej przeprowadzenie badań przy zadanych resursach;
termin realizacji, czas przetwarzania na EMC, dostępna informacja,
ilość wykonawców itp.

Wśród wielu znanych metod i technik heurystycznych /liczyć je obecnie w dziesiątki/ za najbardziej przydatne do określania nowych wariantów rozwiązań uznaje się^x następujące:

- / analiza funkcji;
- / ANKOT;
- / ARIZ;
- / metoda morfologiczna /analizy morfologicznej/;
- / synektyka.

Więszszy opis wymienionych metod można znaleźć w materiałach źródłowych^{xx}, poniżej przedstawiono ich ogólny zarys:

1) ANALIZA FUNKCJI - służy do badania i poszukiwania nowych wiązań obiektów /wyrobów/, urządzeń, budowli, maszyn itp., które względów metodycznych nazywa się "nośnikami". Obiekt odwzorowuje się za pomocą funkcji. "Funkcja" wyraża /opisuje/ zadanie lub cel, który trzeba osiągnąć. Bliżej precyzując to pojęcie, określa działania prowadzące do osiągnięcia celu. Istotą analizy funkcji jest stałe problemowe badanie danego obiektu oraz relacji, w których on występuje. Przy formułowaniu funkcji należy kierować się następującymi wskazówkami metodycznymi:

- wyznaczyć funkcję,
- pominąć nośnik /wytrzeć, wymazać, zapomnieć/,
- używać małej ilości słów,
- wyważyć znaczenie użytych słów.

Przyjęcie nośnika przy zapisie funkcji eliminuje wiele oporów psychicznych, które przeszkadzają wprowadzeniu innowacji. Jednocześnie następuje rozszerzenie obszaru poszukiwania nowych nośników /spraw-

- Wg. J. Antoszkiewicz "Metody heurystyczne" PWE Warszawa 1982.
Np.: analiza funkcji - CRUM L.W. "Analiza wartości" PWE W-wa 1972.
- WESOŁOWSKI W.I. "Programowanie nowej techniki" PWN W-wa 1975.
 - ANKOT - A. KAUFMAN, M. FUSTIER, A. DREVET "Inwentyka - Metoda poszukiwania twórczych rozwiązań" WNT W-wa 1975.
 - ARIZ - H. ALTSZULLER "Algorytm wynalazku" WP W-wa 1972. W. DOROSIŃSKI, M. TARGOWSKA "Metoda rozwiązywania zadań wynalazczych ARIZ" W ZADANIE-METODA-ROZWIĄZANIE praca zbiorowa pod red. A. Góralskiego WNT W-wa 1978.
 - Metoda morfologiczna - T. ARCISZEWSKI, J. KISIELNICKA "Analiza morfologiczna" w cyt. ZADANIE-METODA-ROZWIĄZANIE.
 - A. KAUFMAN, M. FUSTIER, A. DREVET w cyt. "INWENTYKA - metoda poszukiwania twórczych rozwiązań".
 - Synektyka - S. MAGIERSKA "Synektyka jako metoda rozwiązywania zadań w cyt. "ZADANIE-METODA-ROZWIĄZANIE".
 - I. CH. JONES "Metody projektowania" WNT W-wa 1977.

szczych, tańszych/. Pomijając nośnik przy formułowaniu funkcji przystępuje się istotne spostrzeżenie: użytkownik jest zainteresowany głównie realizacją potrzebnych mu funkcji, natomiast obiekt, który je spełnia, ma dla niego znaczenie wtórne. Funkcje dzieli się na podstawowe i drugorzędne. Oprócz funkcji pozytywnych wyróżnia się funkcje zbędne. Zbiór pozytywnych funkcji porządkuje się wyko-
tując współzależności między nimi. Żadna z funkcji nie istnieje samodzielnie. Dowolna funkcja ma podporządkowane sobie funkcje niższego rzędu, a sama zależy od funkcji wyższego rzędu. Ta idea współzależności prowadzi bezpośrednio do poziomów hierarchii ważności funkcji i koncepcji hierarchicznego układu funkcji.

Analiza funkcji obejmuje następujące czynności:

- wyznaczenie funkcji /układu funkcji/,
- podział funkcji,
- stopniowanie funkcji wg ich wartości w realizacji zadania,
- określanie wzajemnych powiązań i zależności między funkcjami,
- stopniowanie własności wg ich ważności,
- wyznaczenie funkcji pożądaných,
- znalezienie rozwiązań technicznych realizujących funkcje po-
- żądane.

Czynności te dzieli się między cztery przedsięwzięcia:

1. Identyfikacja funkcji - dokładne ustalenie zbioru funkcji z ich zapisanie.
2. Badanie zbioru funkcji - określenie zbioru funkcji istniejących i pożądaných, aby na tej podstawie określić kierunki poszukiwa-
nia rozwiązań. Odróżnia się przy tym funkcje stanu istniejącego od funkcji stanu pożądanego po to, aby z ich porównania wyznaczyć zbiór funkcji podstawowych, drugorzędnych oraz zbędnych. Możliwe jest również ustalenie funkcji niespełnionych.
3. Badanie funkcji - dokładne ustalenie roli i znaczenia funkcji, aby na tej podstawie określić prawidłowe kierunki poszukiwa-
nia rozwiązań. Sprawdza się m.in. możliwość wyeliminowania którejś funkcji, zastąpienia jej inną, połączenia kilku funkcji razem, prowadzenia funkcji uzupełniających itp.
4. Badanie nośników - analiza rozwiązania technicznego realizującego wymagane funkcje.

Analiza funkcji kończy się ustaleniem zbioru funkcji potrzebnych /koniecznych/. Dobierając nośniki należy maksymalnie dostosować

proponowane rozwiązania techniczne do wymaganego poziomu spełnienia funkcji.

Analiza funkcji należy do bardzo efektywnych metod oceny rozwiązań jak również tworzenia nowych pomysłów. Nie wymaga dużych nakładów na stosowanie.

Pod b/ ANKOT - nazwa jest akronimem od "analiza kontrastowa obiektów technicznych". Metoda ta służy do wzbogacenia, uporządkowania i usystematyzowania informacji /uzyskiwanych podczas burzy mózgów, synektyki itp./ przez kontrastowanie cech, opisów i aspektów. Metoda powstała w wyniku analizy następujących przesłanek: /w przypadku odroczonego /w czasie/ wartościowania^x/ można zauważyć ciekawy sposób powstawania opisu sytuacji, zdarzenia, procesu, wyrobu itp. Umysł wprowadzony w stan swobody twórczej z jednoczesnym skoncentrowaniem uwagi na badanym obiekcie, wcale nie tworzy jaszcza w początkowej fazie/ dokładnej definicji tego obiektu. Wręcz przeciwnie, wywołuje wiele obrazowych analogii, które okrążają obiekt, tworząc razem wyjątkowo bogaty opis. Analogie podawane są bardzo chaotycznie - jedne z nich przeciwstawiają się sobie, inne się zbliżają, powodując wzbogacenie opisu. Pod pozornym bezładem kryje się jednak pewna struktura logiczna, którą można by przyrównać do koła /kuli/. W środku koła jest badany obiekt, punkty na okręgu reprezentują poszczególne obrazy jego opisu. Punkty leżące na przeciwległych krańcach średnicy są przeciwstawnymi obrazami, zaś punkty sąsiednie dają zróżnicowane natężenie opisu. Trzeba zwrócić uwagę na nadzwyczajną płodność w tworzeniu pomysłów przez rozmieszczenie obrazów na okręgu koła /kuli/, co wynika z głęboko racjonalnych przyczyn.

Tworząc nowe projekty, podając nowe propozycje, opracowując nowe rozwiązania obiektu, procesu, wyrobu, organizacji, sytuacji itp. autorzy bardzo często stają się bezkrytyczni przypisując im nadmiar zalet i dodatków. Wolą widzieć je w pozytywnym świetle, omijając ich wady i strony negatywne. Jednak nieumiejętność, czy też niechęć widzenia i oceny stron negatywnych może spowodować, że przeciwnicy danej propozycji

Metody heurystyczne polegające na zgłoszeniu nowych pomysłów bez natychmiastowego ich oceniania. Przesunięcie oceny /krytyki/ w czasie ma duże znaczenie dla efektywnej pracy twórczej. Z jednej strony pobudza do tworzenia, z drugiej zaś otwiera możliwość podawania idei i pomysłów niekonwencjonalnych, oryginalnych, rzeczywiście nowatorskich. Najszerzej spopularyzowano metody tzw. "burzy mózgów".

nie na nich opierać będą swoje kontrargumenty. Metoda ANKOT zmusza do stałego kontrastowania opisu obiektu. Czynność ta jest bardzo ważna dla prawidłowej oceny oraz przygotowania się do odparcia kontrargumentów przeciwników. Stałe kontrastowanie cech jest podstawowym wymaganiem metodycznym ANKOT.

Ze zbioru cech wyodrębnia się takie pary cech /pozytywna-negatywna/, w których należy wyeliminować wpływ cechy negatywnej, utrzymując cechę pozytywną w nie zmienionej postaci. Dla znalezienia pomysłów eliminujących można wykorzystać inne metody heurystyczne np. burzę mózgów.

Cykl postępowania w metodzie ANKOT obejmuje cztery czynności:

1. Określenie tematu. Temat należy sformułować jasno i zwięźle. Określenie tematu poprzedza zebranie informacji, które klasyfikuje się pod kątem kierunków usprawnienia. Zwykle uzupełnia się je opisanymi wadami i niedociągnięciami oraz zaletami istniejącego rozwiązania.

2. Kontrastowanie - prowadzi się je w odniesieniu do analizowanego obiektu lub jego fragmentu, opisując go parami cech. W kolejnych parach cechy reprezentują przeciwstawne opisy obiektu. Zebrane cechy są źródłem usprawnienia obiektu.

3. Analizowanie cech. Zebrane cechy podlegają analizie i dalszym poszukiwaniom, których celem jest wyeliminowanie wpływu cech negatywnych lub wzmocnienie wpływu cech pozytywnych. Do tego celu wykorzystuje się inne metody heurystyczne np. burzę mózgów.

4. Opracowanie rozwiązania. Wnioski z dwóch poprzednich czynności służą do opracowania usprawnień.

ANKOT należy do bardzo efektywnych metod rozwiązywania dowolnych problemów. Nakłady na stosowanie metody są niewielkie.

Pod c/ ARIZ - nazwa jest akronimem od "algorytmu rozwiązania izobrazkowej zadania" co należy tłumaczyć jako "metodę rozwiązywania zadań wynalazczych". Metodę tę opracował H. Altszuller na podstawie analizy metodycznej 25 tys. zgłoszeń patentowych w ZSRR.

Właściwą przewodziącą metodą ARIZ jest dążenie do uzyskania wyniku idealnego, który jest doskonałością /gdy nie istnieją żadne ograniczenia: fizyczne, chemiczne, techniczne, ekonomiczne, organizacyjne, społeczne i inne/. Przeszkodą w osiągnięciu pożądanego ideału są sprzeczności między cechami wymaganego rozwiązania a rzeczywistością. Przewyciężanie tych sprzeczności nie pozwala wprowadzić pełne osiągnięcie ideału, lecz prowadzi do rozwiązania, które jest bardziej doskonałe niż obecne.

rozpowszechnione jest naiwne i nieuzasadnione mniemanie, że pomysły wynalazcze powstają z niczego. Prawda jest jednak inna, bardziej przyziemna. Każdy wyrób powstaje na podstawie dotychczasowych doświadczeń i wiedzy i wieloletniego doświadczenia. Ewolucja wyrobów dokonuje się permanentnie, ponieważ stale pojawiają się nowe zadania wynalazcze wynikające z potrzeb społecznych.

Nimo, że brak jest systematycznych poszukiwań wynalazczych, to jednak można zaobserwować jednoznaczną linię rozwoju i doskonalenia tego wyrobu. Droga ta w rzeczywistości zmierza do rozwiązania idealnego. Wykorzystując to spostrzeżenie H. Altszuller wprowadził pojęcie "maszyny idealnej".

"Maszyna idealna" to umowny wzorzec, do którego zmierza rozwiązanie, charakteryzujący się brakiem jakichkolwiek ograniczeń/fizycznych, chemicznych, technicznych, ekonomicznych, czasowych, społecznych i innych/.

Maszyna idealna jest "źródłem światła", do którego trzeba dążyć i zarazem podstawowym założeniem metody ARIZ. Pojęcie maszyny idealnej można uogólnić na pojęcie "idealnego wyniku końcowego" /IWK/, określonego jako rozwiązanie zadania, gdy nie istnieją żadne ograniczenia. IWK jest rozwiązaniem do którego się dąży, które chce się osiągnąć. Osiągnięcie IWK jest możliwe po usunięciu sprzeczności między założonym ideałem a rzeczywistością. Metoda ARIZ charakteryzuje się systematycznym sposobem przeprowadzenia badania. Proces badawczy ARIZ obejmuje sześć stadiów:^{x/}

1. Sformułowanie zadania-uświadomienie sobie celów /np.: technicznych i ekonomicznych/ zadania, które trzeba rozwiązać; określenie kryteriów optymalizacji; sformułowanie zadania pośredniego/obejmującego/; ustalenie potencjalnych wymogów ze względu na przyszłość i stosowanie.
2. Sprecyzowanie założeń zadania-analiza rozwiązań /np. patentowych/ podobnych, zbliżonych i idealnych, aby ostatecznie sprecyzować założenia zadania.
3. Analizowanie-ustalenie idealnego wyniku końcowego /IWK/, aby przez porównanie z istniejącymi wynikami doprowadzić do opracowania wariantu usprawnionego.
4. Ocenianie-ustalenie przyczyn polepszenia lub pogorszenia pracy i kierunków poprawy.

Metoda ARIZ ma kilka wersji np. ARIZ-61, ARIZ-64, ARIZ-68, ARIZ-71, ARIZ-75. Pełny opis metody jest bardzo rozległy.

5. Stadium operacyjne-wykorzystanie zasady sprzeczności^{x/} do usunięcia nowych wariantów rozwiązania.

5. Synteza-dostosowanie obiektu do systemu lub wykorzystanie go w nowych zastosowaniach.

Metoda ARIZ należy do efektywnych metod rozwiązywania złożonych problemów technicznych. Jest jednak kosztowna ze względu na długotrwałą pracę powołanego w tym celu zespołu.

Pod d/ METODA MORFOLOGICZNA - opracowana została przez F. Zwicky - astrofizyka i pioniera silnika odrzutowego, służy do identyfikowania, indeksowania i liczenia wszystkich rozwiązań danego problemu. Wprowadzenie metody morfologicznej wynikało ze spostrzeżenia, podstawową przeszkodą we wprowadzeniu nowych rozwiązań jest tendencyjność w myśleniu. Szukając pomysłu na rozwiązanie problemu, człowiek wykorzystuje najchętniej znane sposoby, skupia uwagę na nawych znajdujących się najbliższej bądź na tych, które przez swoznaczenie lub okazalność koncentrują uwagę. Często przecenia jedyną informację, niedocenia innych, zatrzymuje się na pierwszych spostrzeżeniach i zapomina o następnych lub wręcz nie chce ich zauważyć. Wybiera to, co lubi, lekceważy to, co wydaje mu się aktualnie

Zasada sprzeczności lub antynomii to nazwa opracowanej przez H. Altszullera metody przewycięzania sprzeczności technicznych. Powstała przez wykorzystanie obserwacji, że przy opracowywaniu nowego rozwiązania osoba /zespół/ stara się stosować znane warianty dopóty, dopóki nie dojdzie do sprzeczności wewnętrznych z uwagi na realizowany cel. W badanym obiekcie najpierw trzeba ustalić pary cech między którymi zachodzą sprzeczności /np. istnienie jednej cechy wyklucza istnienie w wystarczającym stopniu drugiej cechy/ wzrost /obniżenie/ poziomu jednej cechy powoduje spadek /podwyższenie/ drugiej cechy/. Dla każdej pary cech trzeba szukać następnego sposobu eliminacji podstawowej sprzeczności, która istnieje między nimi.

H. Altszuller wyodrębnił 32 cechy między którymi najczęściej zachodzą sprzeczności /np. czas trwania działania, dokładność, niezawodność, komfort pracy, wydajność itp./ oraz 40 technik pomocnych do usuwania sprzeczności /np. technika "wcześniej położonej poduszki" polega na wcześniejszym przygotowaniu środków antywaryjnych w celu skompensowania niekiej niezawodności obiektu; technika uniwersalności polega na umożliwieniu obiektowi wykonywania kilku funkcji, dzięki czemu inne obiekty lub elementy stają się zbędne; technika "pośrednika" polega na wprowadzeniu elementu pośredniczego /pośrednika, przenośnika//. W celu ułatwienia przewycięzania sprzeczności H. Altszuller opracował specjalną macierz kwadratową, której wiersze i kolumny związane są z cechami. Jeśli między cechami zachodzi sprzeczność to na przecięciu odpowiedniego wiersza i kolumny podane są numery technik, które mają ułatwić znalezienie rozwiązania usprawniającego.

mpatyczne. Jeżeli te skłonności są poparte doświadczeniem, mogą być bariery utrudniające tworzenie nowych idei i pomysłów rozwiązania danego problemu.

Podstawową cechą metody morfologicznej jest całościowy sposób prowadzenia badania. Polega on na systematycznym przeszukiwaniu interesującej dziedziny, aby jasno i jednoznacznie sformułować zadanie, a następnie podać wszystkie możliwości jego realizacji. Cykl poszukiwania rozwiązań przy użyciu metody morfologicznej składa się do zrealizowania trzech przedsięwzięć, które są powtarzane aż do uzyskania oczekiwanego wyniku, są to:

1. Sformułowanie problemu - czyli dokładne rozpoznanie obzaru i zakresu zadania, aby przez kolejne operacje logiczne wyselekcjonować "jądro" problemu a więc wszystko to, co jest interesujące i potrzebne, zarazem określając granice, poza które nie będzie się już podzielić. Proces ten powtarza się wielokrotnie, rozpatrując problem w różnych płaszczyznach i z różnych punktów widzenia, aby uzyskać całościowy pogląd na to zagadnienie.

2. Analiza - określenie struktury problemu /zadania/, a następnie wyszczególnienie problemów i cech charakteryzujących ten problem. Ustalenie podproblemów, tzw. składowych, oraz pomysłów realizacji każdej ze składowych. Oprócz podproblemów wydziela się cechy, atrybuty, metry, atrybuty itp., dla każdego z nich określa się zbiór przydatnych stanów, dopuszczalnych wartości itp.

Ważną zaletą metody morfologicznej jest swoista dekompozycja problemu na elementy i cechy składowe, które w tej fazie rozwiązywania traktuje się jako niezależne. Dla każdego fragmentu poszukuje się pomysłów realizacji tak, jak gdyby nie istniał on w całości. Założenie to ma istotny wpływ na jakość i liczbę pomysłów, ponieważ szukając rozwiązań dla fragmentu człowiek nie jest ograniczony wymaganiami i warunkowaniami narzuconymi przez cały problem. W ten sposób łatwiej oderwać się od istniejących rozwiązań, a tym samym stworzyć grunt dla nowych propozycji. Jedną ze słabości metody jest brak niezawodnych przepisów lub wskazań, które pozwoliłyby stwierdzić, czy zbiór składowych jest kompletny i czy został uzyskany we właściwy sposób.

Do poszukiwania pomysłów można użyć dowolnej metody heurystycznej, np. burzy mózgów.

3. Synteza - określenie wszystkich rozwiązań danego problemu przez permutację pomysłów poszczególnych składowych. Cechą charak-

etyczną jest budowanie tzw. skrzynki morfologicznej lub iloczyn-
morfologicznych. Iloczyn morfologiczny jest to wynik operacji,
a polega na łączeniu pomysłów dotyczących różnych składowych
nie z określonymi wymaganiami metodycznymi. Pomysły, warianty
ce rozwiązaniami poszczególnych podproblemów /składowych/ "mno-
ię" logicznie między sobą w celu stworzenia nowego pomysłu
balnego" będącego propozycją rozwiązania całego problemu. Ope-
ę przeprowadza się systematycznie łącząc wszystkie lub kilka
dowych. W trakcie tej operacji obowiązuje zasada odroczonego
zasie/ wartościowania. Połączenia wykonuje się w zależności od
any metody:

- za pomocą systematycznego wyliczania;
- za pomocą ograniczonego wyliczania,
- za pomocą randomizacji,
- za pomocą błędzenia losowego,
- za pomocą podobieństwa,
- sekwencyjnie.

W ten sposób powstaje przebogaty zbiór potencjalnych rozwiązań,
erający rozwiązania oryginalne. Dzięki wymaganiom metodycznym
na bowiem połączyć w nową wartość pomysły, które uprzednio wy-
ały się niemożliwe do zagregowania. Po stworzeniu iloczynów mor-
gicznych, nie wcześniej, wprowadza się elementy normatywne.
dy iloczyn morfologiczny jest potencjalnym rozwiązaniem proble-
i wymaga oczywiście dalszej analizy. Selekcję pomysłów przepro-
za się względem ustalonych kryteriów. Zasadniczą wadą metody
t brak uniwersalnego sposobu selekcji i analizowania otrzymanych
pozycji. Jak stwierdza F. Zawicky, jest to skomplikowane przed-
wzięcie, zwłaszcza w odniesieniu do bardziej złożonych dzie-
n^{x/}. Powstaje w ten sposób zbiór wszystkich rozwiązań danego
blemu, z którego można wyodrębnić:

- rozwiązania znane nie wymagające adaptacji,
- rozwiązanie znane wymagające dostosowania do warunków,
- rozwiązania racjonalne,
- rozwiązania nowe wymagające radykalnych zmian,
- rozwiązania określające nowe kierunki zastosowań,

Fakt stosowania tej metody i osiągnięcie przy jej pomocy znaczą-
cych sukcesów przy jednoczesnym braku informacji o sposobach se-
lekcji rozwiązań może sugerować, że selekcja jest jednym z naj-
istotniejszych elementów metody, i że chodzi tutaj o "tajemnicę
firmy".

- rozwiązania oryginalne,
- rozwiązania niemożliwe do realizacji na danym etapie rozwoju,
- rozwiązania nierealne.

Syntezę i ocenę pomysłów przeprowadza się wielokrotnie, aż do momentu gdy uzyska się przekonanie, że wyczerpane są możliwości wymyślenia pomysłu. Pracę kończy opracowanie kilku sensownych propozycji, z których można wybrać najlepsze. Zwykle zaleca się opracowanie co najmniej 5 propozycji i dopiero spośród nich wybranie rozwiązania optymalnego.

Metoda morfologiczna uznawana jest za jedną z najbardziej efektywnych metod poszukiwania i porządkowania projektów rozwiązania danego problemu. Przede wszystkim jest użyteczna przy rozwiązywaniu problemów które są ugruntowane przez tradycję i wydają się być trudne i odważalne. Metoda nie wymaga specjalnych nakładów na jej zastosowanie, przy czym oczekiwane rozwiązanie można uzyskać w stosunkowo krótkim czasie.

Metoda SYNEKTYKA - jest metodą opracowaną przez W.J.J. Gordona. Słowo pochodzi od greckich słów "sinektikos" /obejmujący, trzymający razem/ i "synektadzo" /przymierzać, zbadać razem/. Synektyka jest z jednej strony metodą heurystyczną o zorganizowanym cyklu poszukiwania rozwiązań, który powinien być ściśle przestrzegany, z drugiej zaś wymaga wywołania określonych stanów emocjonalnych i warunków twórczych oraz czynników inicjujących, podtrzymujących i katalizujących proces twórczy, co wiąże się nie tylko z właściwym doborem ludzi do pracy w zespołach synektycznych, ale także odpowiednimi zabiegami metodycznymi. W.J.J. Gordon zwrócił uwagę na to, że najciekawsze i oryginalne wartości tematyczne, wynalazki, teorie; powstają przez obalenie uprzednio istniejących prawd uznawanych za niepodważalne. Biorąc to pod uwagę, oparł synektykę na zasadach negacji, inwencji lub podważania najbardziej utartych reguł, dogmatów i przykazań. Zauważając, że nowe przełomowe, oryginalne systemy teoretyczne, prawa, wynalazki techniczne powstały z połączenia się w nowe wartości różnych elementów uznawanych za niewiążące się ze sobą, Gordon oparł jedną z zasad metodycznych na świadomym i wymuszonym łączeniu ze sobą elementów sytuacji, rzeczy, cech, faktów itp., które pozornie się ze sobą nie łączą, a w rzeczywistości do siebie nie przystają.

Rozwiązywanie problemu daje się ująć w dwóch fazach, których kolejność nie jest jednoznacznie ustalona i zależy od rodzaju proble-

etapu rozwiązywania. Fazy te można rozpatrywać w kategoriach racjonalno-emocjonalnych i emocjonalno-racjonalnych:

1. oswajanie dziwności /making the strange familiar/, nieznane staje się znane i bliższe przez dokładne zdefiniowanie, analizę i jasne sformułowanie problemu;

2. udziwnianie swojakości /making the familiar strange/, jeżeli problemu jest stopniowo oddalana i udziwniana, "odwracana do nogami", to następuje wyobcowanie z problemu, co ułatwia tworzenie nowych rozwiązań.

3. podstawowe reguły postępowania metodycznego są następujące:

1. Rozkruszenie lub obalenie istniejącego stanu prawd, reguł, zasad, rozwiązań, systemów teoretycznych itp. uznawanych po prostu za trwałe i niepodważalne.

2. Łączenie w całość różnych elementów, które pozornie się ze sobą nie łączą w celu otrzymania nowej wartości.

3. Naśladowanie procesu twórczego.

4. Wywołanie stanów emocjonalnych umożliwiających inicjację, podtrzymanie i utrzymanie wysokiego poziomu aktywności twórczej.

5. Aktywność może być oparta na możliwościach twórczych jednostki, lecz jej efektywność zapewnia praca grupowa. Zespół specjalistów

6. Wykwalifikowany zawodowo pozwala uniknąć pułapek myślenia profesjonalnego.

7. Jeżeli specjaliści reprezentują schematy myślenia charakterystyczne dla ich profesji, to konfrontacja różnych postaw i konwencji

8. Jest nie tylko nie jest groźna, lecz może być inspiracją dla pozostałych uczestników zespołu, gdyż pojęcia, twierdzenia i informacje

9. funkcjonujące w obrębie jednej specjalności mogą okazać się nowe spojrzeniem w innych dziedzinach.

10. Dobór ludzi do zespołu synektycznego zależy jakości i skuteczności opracowywania rozwiązań problemu. Z tych względów W.J.J. Gordon

11. przywiązuje bardzo duże znaczenie do prawidłowego doboru zespołu, a zwłaszcza osoby kierownika, który steruje pracą zespołu pod względem

12. metodycznym, tzn. odpowiada nie tyle za poziom uzyskanego rozwiązania problemu, co za przestrzeganie zasad i wymagań synektyki.

13. Metoda synektyczna charakteryzuje się cyklem rozwiązania problemu składającym się z czterech faz, które następują po sobie i mogą

14. wielokrotnie powtarzane. Kolejność występowania poszczególnych faz zależy od złożoności problemu i etapu jego rozwiązywania:

1. Intensywne zajmowanie się problemem. Intensywne prace badawcze nad problemem dotyczą jego właściwości, otoczenia, wpływów, za-

ności, powiązań z jednoczesną próbą opisanie znanych sposobów rozwiązywania.

2. Oddalenie się od problemu. Oddalenie się od problemu, aby o nim zapomnieć, opiera się na założeniu niezależności działania świadomości i podświadomości. "Wytarcie" problemu ze świadomości pozwala na spokojniejsze i twórcze działanie podświadomości, które w przypadku jest bardziej efektywne w tworzeniu nowości. Gordon uważa, że ma równe znaczenie wyobcowaniu zarówno co do miejsca, jak i czasu. Uważa również, że stan odprężenia wpływa pobudzająco na produktywność twórczą.

3. Budowanie połączeń. Tworzenie powiązań między elementami dotychczas odległymi jest charakterystyczną fazą synektyki. Opiera się na systematycznym stosowaniu analogii w czasie oddalania się od dotychczasowego sposobu rozwiązania. Stopniowe i świadome oddalenie się od problemu, dążenie do wyobcowania się z niego, osiągnięte w poprzedniej fazie, przy jednoczesnym systematycznym stosowaniu analogii prowadzi do ukształtowania się nowych, często zajmujących punktów widzenia. W konsekwencji powstaje dobry stan do powstawania nowych idei.

4. Tworzenie rozwiązań. Poszukiwane rozwiązanie jest odpowiednim uzupełnieniem i zmodyfikowaniem zbioru pomysłów.

Metoda synektyczna jest bardzo efektywna przy rozwiązywaniu problemów skończonych, ugruntowanych przez tradycję, o których istnieje powszechne przekonanie, że nie mogą być zmienione, przy czym próby ich rozwiązania za pomocą innych metod nie dały spodziewanego wyniku. Koszty badań synektycznych są jednak wysokie. Największe nakłady ponosi się na przygotowanie zespołu do pracy metodą synektyczną. Znaczne są również nakłady na rozwiązanie problemu przez zespół. Przedstawione tu metody poszukiwania i tworzenia rozwiązań wprowadzają w proces twórczy pewien ład i metodyczny porządek. Bazują jednak na wiedzy, doświadczeniu i intuicji kompetentnych specjalistów. Metody ukierunkowują i porządkują działanie, stymulują pracę człowieka, odrzucają podświadome ograniczenia i nawyki, ale nie pozwalają funkcjonować w oderwaniu od wcześniej zdobytej wiedzy o problemie i jego rozwiązaniach. Metody nie zastępują wiedzy i ścisłości powiązań, pozwalają jedynie na jej wykorzystanie.

Oszacowanie wiarygodności wyników modelowania oraz ocena realności modelu systemu

Problemem szacowania wiarygodności obliczeń wynika stąd, że w symulacji metodą Monte Carlo /a z taką mamy do czynienia/ występują realizacje zmiennych losowych. Uzyskiwane w procesie symulacji wyniki są realizacjami złożonego procesu stochastycznego. Ponieważ pojedyncze realizacje zmiennych losowych nie mogą być podstawą do wywniesienia ogólniejszych wniosków, to w procesie symulacji dokonuje się wielokrotnych powtórzeń. Jako podstawę do ogólnego wnioskowania przyjmuje się wartości średnie z wszystkich realizacji.

Oszacowanie wartości oczekiwanych zmiennych losowych na podstawie wartości średnich z pewnej liczby realizacji, może być obarczone błędem. Wynika to z faktu, że jeśli zmienna ma charakter losowy, to średnia z pewnej liczby realizacji tej zmiennej jest także zmienną losową.

Oszacowanie parametrów rozkładu zmiennej losowej na podstawie pewnej liczby obserwacji, w statystyce matematycznej określa się mianem estymacji parametrów. Podstawowym problemem estymacji jest odpowiedniej statystyki, czyli funkcji określonej na zbiorze obserwacji, której wartości byłyby dostatecznie dobrym /z punktu widzenia wymagań obserwatora/ przybliżeniem określonego parametru rozkładu badanej zmiennej losowej.

Wartości parametrów rozkładu obliczane z pewnej ilości obserwacji są szacowaniami punktowymi. O wiele wygodniejsze w praktyce jest szacowanie przedziałowe tych parametrów, tzn. wyznaczenie takiego przedziału $(q - \xi, q + \xi)$, którego końce i długości są wartościami losowymi i który z określonym, na ogół dużym prawdopodobieństwem zawiera wartość estymowanego parametru. Taki przedział zwany przedziałem ufności, a prawdopodobieństwo $(1 - \alpha)$, z jakim on zawiera szacowany parametr nazywa się poziomem ufności lub współczynnikiem ufności. Używany tu zwrot "przedział zawiera estymowany parametr", a nie "parametr jest zawarty w przedziale" uzasadniony jest założeniem, że przedział ufności jest przedziałem losowym, a szacowany parametr jest wielkością stałą.

Przedziały ufności wyznacza się na podstawie rozkładów statystyk losowych estymatorami szacowanych parametrów.

Zwyczaj przy wyznaczaniu przedziału ufności, poziom ufności wyznacza się z góry i w zależności od prawdopodobieństwa $(1 - \alpha)$,

stawie rozkładu estymatorów wyznacza się końce przedziału tak, aby estymowanego parametru Q zachodziło:

$$P(q - \varepsilon < Q < q + \varepsilon) = 1 - \alpha$$

Problem szacowania wiarygodności obliczeń w modelu symulacyjnym tym stopniu pokrywa się z klasycznym problemem estymacji punktowej.

Wszym zadaniem jest bowiem określenie granic przedziału ufności estymowanego parametru dla danego poziomu ufności. Samo określenie zakresu przedziału ufności nie wyczerpuje jednak problemu, gdyż może okazać się, że zakres przedziału ufności $2 \cdot \varepsilon$ jest zbyt szeroki, czyli dokładność oszacowania $(1 - \delta)$ gdzie $\delta = \frac{\varepsilon}{q}$, jest zbyt małą w stosunku do przyjętych wymagań.

W takim przypadku taki zachodzi wtedy, gdy zbyt mała jest ilość realizacji losowej, a wynika to z faktu, że zachodzi korelacja między ilością obserwacji, a zakresem przedziału ufności, a raczej mówiąc korelacja dodatnia między ilością obserwacji a dokładnością obliczeń.

Ważnym zadaniem do rozwiązania jest więc określenie działań koniecznych dla zwiększenia dokładności oszacowania estymowanych parametrów w takim stopniu aby dokładność obliczeń $(1 - \delta)$ była nie mniejsza niż przyjęto w wymaganiach. Możliwe są dwa podstawowe kierunki działań:

1. wybór innego sposobu prowadzenia obserwacji lub dobór takiej metody aby jej rozkład gwarantował mniejszy zakres przedziału ufności;

2. zwiększenie ilości realizacji badanej zmiennej losowej - n . Istnieją co najwyżej dwa sposoby, za pomocą których prowadzący eksperyment może wpływać na jakość wyników. Po pierwsze można zastosować metodę redukcji wariancji, która pozwala na uzyskanie tym samym, wyników o większej dokładności statystycznej, niż umożliwiłoby to inne, możliwe do wykorzystania metody. Po drugie na wejściu ciągłu rozpatrywanych eksperymentów można adaptować układ eksperymentu, co pozwala na poprawę stopnia dokładności statystycznej. Wśród metod umożliwiających zwiększenie dokładności obliczeń można wymienić w szczególności:

1. metody oparte o wykorzystanie informacji a priori;

2. metody tzw. mocy losowania;

3. procedury losowania przeciwnego;

procedury losowania warstwowego;
metodę zmiennych kontrolnych.

Wszystkie te metody mają tę wadę, że ich rozwinięcie na symulację działania systemów złożonych nie jest zbyt oczywiste^{x/}. Wpływa na to duża złożoność modeli symulacyjnych zdarzeń i niemożność precyzyjnego przewidywania przebiegu eksperymentów. Dla ewentualnego zapoznania wybranej metody i określenia jej użyteczności, należałoby w symulowaniu działania systemu OPL przeprowadzić odrębne złożeń badania o charakterze statystycznym. Dlatego też do oceny wiarygodności wyników wykorzystuje się najprostsze i najszerszej stosowane w statystyce techniki estymacji.

Przyjmuje się, że określone statystyki dobierane są przed rozpoczęciem konkretnych przebiegów obliczeniowych, w dalszym ciągu rozważań wysiłek skupia się więc na drugim kierunku, czyli na wyznaczaniu odpowiedniej ilości przebiegów - n .

Założyć można na wstępie następującą rekurencyjną metodę:

- a/ wykonanie pewnej ilości realizacji zmiennej losowej;
- b/ sprawdzenie czy zakres przedziału ufności przy zadanym poziomie ufności jest dostatecznie mały na to, aby zagwarantować wymaganą dokładność;
- c/ w przypadku zbyt dużego zakresu przedziału ufności, określenie wymaganej ilości dodatkowych realizacji i przejście do pkt. a/.
- d/ zakończenie szacowania wiarygodności.

Najistotniejszym parametrem rozkładu jest zwykle wartość oczekiwana, w związku z tym podstawową statystyką wykorzystywaną w procesie estymacji jest wartość średnia.

Jeśli symbolem ξ oznaczy się badaną zmienną losową, a symbolem ξ_i ($i=1, n$) wartości poszczególnych realizacji /obserwacji/ tej zmiennej, to statystykę \bar{X} zwaną średnią z próby będącą estymatorem wartości oczekiwanej m zmiennej losowej ξ_i wyznacza się ze wzoru:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i$$

III.3.1

Można w prosty sposób wykazać, że zachodzi zbieżność \bar{X} do m . Ponieważ ξ jest zmienną losową, zatem \bar{X} jest także zmienną losową. Z zależności

Szersze uzasadnienie poglądów tego rodzaju prezentowane są w literaturze specjalistycznej np. G. S. Fishman "Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody" PWE 1981. Rozdział 11.

$$\sigma^2[\bar{x}] = E\{[\bar{x} - m]^2\}$$

III.3.2

y założeniu, że zmienne losowe ξ_1, \dots, ξ_n są niezależne i mają ten sam rozkład otrzymuje się:

$$\sigma^2[\bar{x}] = \sigma^2\left[\frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{n}\right] = \frac{1}{n^2} \cdot \sigma^2\left[\sum_{i=1}^n \xi_i\right] = \frac{1}{n^2} \cdot \sum_{i=1}^n \sigma^2[\xi_i] = \frac{\sigma^2[\xi]}{n}$$

III.3.3

z równania tego widać, że:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma^2[\bar{x}] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \cdot \sigma^2[\xi] = 0$$

III.3.4

zbieżność \bar{x} do m jest zapewniona.

W zależności od rozkładu badanej zmiennej i liczności próby rzeczywisty rozkład statystyki m można aproksymować w różny sposób.

W tym celu przy estymacji przedziałowej M w dalszej części rozważań wydzielono kilka przypadków:

Przypadek A/

Ilość obserwacji n jest mała, a zmienna losowa ξ ma rozkład normalny $N(m, \sigma)$ o nieznanej wartości oczekiwanej m i znanym odchyleniu standardowym σ .

Wówczas przedział ufności o poziomie ufności $(1 - \alpha)$ dla średniej wyznacza się ze wzoru:

$$\bar{x} - u_\alpha \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + u_\alpha \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

III.3.5

gdzie \bar{x} jest zaobserwowaną wartością statystyki \bar{x} /średniej arytmetycznej/ obliczonej po n obserwacjach, a u_α jest wartością standaryzowanej zmiennej losowej

$$u = \frac{\bar{x} - m}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

III.3.6

rozkładzie normalnym $N(0,1)$, dla której

$$P(|u| < u_\alpha) = 1 - \alpha$$

III.3.7

co jest równoważne,

$$P\left(\bar{x} - u_\alpha \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + u_\alpha \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

III.3.8

wypadek B/

Ilość obserwacji n jest mała. Zmienna losowa ξ ma rozkład normalny $N(m, \sigma)$ i ma nieznaną nie tylko wartość oczekiwaną, lecz i odchylenie standardowe. Wówczas przedział ufności dla średniej wyznacza się ze wzoru:

$$\bar{x} - t_{\alpha} \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + t_{\alpha} \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} \quad \text{III.3.9}$$

Występująca w tym wzorze wartość t_{α} jest wartością statystyki

$$t = \frac{\bar{x} - m}{\bar{s}} \cdot \sqrt{n} \quad \text{III.3.10}$$

gdzie \bar{s} jest pierwiastkiem arytmetycznym statystyki \bar{s}^2 określonej wzorem:

$$\bar{s}^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \xi_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \xi_i \right)^2}{n} \right] = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \xi_i^2 - (\bar{x})^2 \cdot n \right] \quad \text{III.3.11}$$

Statystyka t jest zmienną losową mającą rozkład T studenta o $n-1$ stopniach swobody. Wielkość t_{α} jest wartością zmiennej t , dla której:

$$P(|t| < t_{\alpha}) = 1 - \alpha \quad \text{III.3.12}$$

Wyrażenie III.3.9 jest równoznaczne wyrażeniu

$$P\left(\bar{x} - t_{\alpha} \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + t_{\alpha} \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha \quad \text{III.3.13}$$

wypadek C/

Ilość obserwacji jest duża ($n > 30$). Zmienna losowa ma dowolny rozkład niekoniecznie znany. Wartość oczekiwana m i odchylenie standardowe σ nie są znane.

Wykorzystuje się fakt, że średnia arytmetyczna niezależnych zmiennych losowych ξ_1, \dots, ξ_n o jednakowym dowolnym rozkładzie ma rozkład asymptotycznie normalny $N\left(\bar{x}, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$. Wtedy podobnie jak w przypadku a/ przedział ufności dla średniej arytmetycznej wyznacza się wg. wzoru:

$$\bar{x} - U_{\alpha} \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + U_{\alpha} \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} \quad \text{III.3.14}$$

cie u_α podobnie jak w przypadku a/ jest wartością statystyki określonej wzorem III.3.6 i wyznacza się ją z tablic rozkładu normalnego $N(0,1)$, jako tę wartość, dla której zachodzi

$$P(|U| < u_\alpha) = 1 - \alpha \quad \text{III.3.15}$$

czy dużej wartości n nie odgrywa roli, czy we wzorze III.3.14 bierzemy się \bar{S} czy S .

Przypadek D/

Ilość obserwacji n dowolna. Zmienna losowa ma dowolny rozkład niekoniecznie znany. Wartość oczekiwana m i odchylenie standardowe nie są znane. Dla oszacowania przedziału ufności wykorzystujemy w tym przypadku nierówność Czebyszewa, zgodnie z którą przy analizacjach dowolnej zmiennej losowej ξ dla każdego $\varepsilon > 0$ zachodzi

$$P\{|\bar{x} - m| \geq \varepsilon\} < \frac{\sigma^2(\xi)}{\varepsilon^2} = \frac{\sigma^2(\xi)}{n \cdot \varepsilon^2} \quad \text{III.3.16}$$

znacza to, że prawdopodobieństwo, iż w przedziale o długości 2ε o środku \bar{x} zawiera się wartość m można uczynić dowolnie bliskim przez wybranie odpowiednio dużego n , ponieważ

$$P\{\bar{x} - \varepsilon \leq m \leq \bar{x} + \varepsilon\} \geq 1 - \frac{\sigma^2(\xi)}{n \cdot \varepsilon^2} \quad \text{III.3.17}$$

oznaną wartość $\sigma^2(\xi)$ można estymować przy pomocy statystyki \bar{S}^2 określonej wzorem III.3.11.

Zakładając, że zadany jest poziom ufności $1 - \alpha$, przez odpowiednie przekształcenie prawej strony nierówności III.3.17 dostajemy

$$\varepsilon^2 = \frac{\sigma^2(\xi)}{n \cdot \alpha} \quad \text{III.3.18}$$

gd, po zamianie $\sigma^2(\xi)$ na $\bar{S}^2(\xi)$ i wstawieniu do wzoru III.3.17 staje się następującą ostateczną postacią wzoru na przedział ufności

$$P\left\{\bar{x} - \frac{\bar{S}}{\sqrt{n \cdot \alpha}} \leq m \leq \bar{x} + \frac{\bar{S}}{\sqrt{n \cdot \alpha}}\right\} \geq 1 - \alpha \quad \text{III.3.19}$$

W dotychczasowych rozważaniach w każdym z czterech przypadków A, B, C, D uzyskano równanie do oceny przedziału ufności \bar{X} przy zadanej poziomie ufności $1-\alpha$ /. Zrealizowano w ten sposób dopiero pierwszą część zadania.

W praktyce oprócz wymaganego poziomu ufności, zadany zwykle jest także maksymalny zakres przedziału ufności, zadany zwykle w postaci maksymalnego dopuszczalnego względnego błędu oszacowania wartości zdefiniowanego wzorem

$$\delta_0 = \frac{\xi_0}{m} \quad \text{III.3.20}$$

gdz dostaje się warunek na maksymalną dopuszczalną wartość bezwzględnego błędu oszacowania

$$\xi = m \cdot \delta_0 \quad \text{III.3.21}$$

Następując we wzorze III.3.21 nieznaną wartość m jej estymatorem \bar{X} otrzymuje się

$$\xi_0 = \bar{X} \cdot \delta_0 \quad \text{III.3.22}$$

Wymaganie na ξ_0 może być podstawą do obliczenia wartości n , czyli liczby realizacji zmiennej losowej ξ .

W praktyce jest to możliwe tylko w przypadku A, tzn. wtedy, gdy badana zmienna ma rozkład normalny i a priori znana jest wariancja σ^2 . Wtedy odpowiednio wykorzystując wzór III.3.8 dostaje się po przekształceniach następujący warunek na wymaganą liczbę realizacji w wariancji σ^2 .

$$n \geq \left(\frac{U_{\alpha} \cdot \sigma}{\xi_0} \right)^2 \quad \text{III.3.23}$$

np. dla poziomu ufności $1-\alpha = 0,95$ odpowiada warunkowi

$$n \geq \left(\frac{\sigma}{\xi_0} \right)^2 \cdot 3,84 \quad \text{III.3.24}$$

dla poziomu ufności $1-\alpha = 0,66$ odpowiada warunkowi

$$n \geq \left(\frac{\sigma}{\xi_0} \right)^2 \cdot 6,66 \quad \text{III.3.25}$$

W pozostałych wariantach do oceny n niezbędna jest wartość statystyki \bar{S}^2 .

Nieważ \bar{S}^2 jest również zmienną losową, a więc tylko estymatą wiel-

kości ϵ^2 , to uzyskać można tylko estymatę wielkości n . Ocena, czy dana ilość realizacji zmiennej losowej jest wystarczająca, możliwe jest więc dopiero po wykonaniu tych realizacji.

Dlatego też w przypadkach B, C, D, zgodnie z wcześniejszą hipotezą powiązuje przy estymacji wartości oczekiwanej badanej zmiennej losowej następująca iteracyjna procedura:

- a/ wykonanie pewnej ilości realizacji - n_j zmiennej losowej,
- b/ obliczenie wartości odpowiednich statystyk \bar{X} i ewentualnie \bar{S} oraz oszacowanie przedziału ufności i rzeczywistej wartości, na podstawie odpowiedniej do danej sytuacji jednej z metod opisanych w przypadkach B lub C,
- c/ sprawdzenie, czy

$$\epsilon \leq \epsilon_0$$

III.3.26

Jeśli warunek III.3.26 jest spełniony, to zakończenie procesu obliczeniowego, w przeciwnym wypadku przejście do pkt d/.

d/ oszacowanie na podstawie aktualnych wartości statystyk ilości realizacji zmiennej losowej - n_{j+1} niezbędnej do osiągnięcia wymaganej dokładności estymacji,

e/ wykonanie dodatkowej ilości realizacji $[n_{j+1} - n_j]$ zmiennej losowej i dalsze kontynuowanie procedury od pkt. c/.

W związku z przedstawioną powyżej alternatywą czterech możliwości, należy określić sposób dokonywania wyboru wariantu odpowiedniego dla obserwowanego przypadku.

Zgodnie z warunkami opisanymi w każdym wariantcie, istotne są: ilość realizacji zmiennej losowej /liczność próby/ - n , oraz typ rozkładu badanej zmiennej losowej ξ .

Jeśli wiadomo jak oceniać n , to ocena typu rozkładu jest rzeczą bardziej skomplikowaną.

W statystyce testy służące do weryfikacji hipotez o typie rozkładu badanej zmiennej losowej nazywane są testami zgodności. Jeśli hipotezą H_0 jest przypuszczenie, że badana zmienna losowa ma rozkład prawdopodobieństwa o dystrybuancie $F(x)$ określonej znanym wzorem, to rozkład ten nazywa się rozkładem hipotetycznym.

W praktyce stosowane są najczęściej dwa testy:

- test zgodności χ^2
- test zgodności λ Kołmogorowa.

Wgodniejszy do stosowania jest test λ Kołmogorowa, gdyż obliczenia

im związane są o wiele prostsze niż obliczenia związane z testem χ^2 . Korzystając jednak z testu λ Kołmogorowa należy pamiętać, w tym przypadku parametry rozkładu hipotetycznego powinny być znane. Gdy warunek ten nie jest spełniony, posługiwać się testem λ Kołmogorowa można tylko wtedy, gdy próba jest duża.

W naszym przypadku dla dużych n , nie jest istotne weryfikowanie hipotezy o typie rozkładu, gdyż wtedy jak to jest przedstawione w rozdziale C, nie wykorzystuje się założenia o znajomości typu rozkładu. Pozostaje więc wariant, gdy n jest nieduże a hipotetyczny rozkład jest rozkładem normalnym $N(\mu, \sigma^2)$ o nieznanymi; wartości oczekiwanej μ i wariancji σ^2 .

W celu weryfikacji hipotezy H_0 , że zmienna losowa ξ ma rozkład normalny stosuje się test χ^2 . W teście tym wykorzystuje się jako miarę rozbieżności między rozkładami empirycznym i teoretycznym o dystrybucji $F(x)$ statystykę wprowadzoną przez K. Pearsona, określoną wzorem:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_i \cdot P_i)^2}{n \cdot P_i} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{n_i^2}{P_i} - n \quad \text{III.3.27}$$

gdzie: $P_i = F(x_i + \frac{1}{2}h) - F(x_i - \frac{1}{2}h)$ jest prawdopodobieństwem wyznaczonym przez hipotetyczną dystrybucję, że wartość zmiennej losowej ξ jest zawarta w przedziale klasowym o środku w punkcie x_i , n_i jest empiryczną liczebnością tego przedziału, $n_i \cdot P_i$ zaś jego liczebność hipotetyczną, n - całkowitą ilość obserwacji, h - długość przedziału klasowego, k - liczbą przedziałów klasowych.

Statystyka określona wzorem III.3.27 ma rozkład o $r = k - s - 1$ stopniach swobody, gdzie s jest liczbą parametrów rozkładu hipotetycznego oszacowanych z próby metodą największej wiarygodności, a k jest liczbą składników sumy w wyrażeniu III.3.27. Weryfikacja hipotezy H_0 o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym /w badanym przypadku normalnym $N(0,1)$ // przy pomocy testu zgodności χ^2 ma przebieg następujący:

Z funkcji rozkładu χ^2 wyznacza się przy ustalonym bardzo małym prawdopodobieństwie α i przy r stopniach swobody taką wartość χ^2_α

$$P(\chi^2 > \chi^2_\alpha) = \alpha \quad \text{III.3.28}$$

liczoną wg wzoru III.3.27 wartość χ^2_0 porównuje się z wyznaczoną wartością χ^2_α . Zbiorem krytycznym W , będącym podstawą do odrzucenia hipotezy H_0 , jest zbiór wartości χ^2 większych od χ^2_α .

em jeśli

$$\chi_0^2 \geq \chi_\alpha^2$$

III.3.29

hipotezę H_0 o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem hipotetycznym odrzuca się. Jeśli zaś χ_0^2 okaże się mniejsza od χ_α^2 , to brakuje podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , a występujące rozbieżności między porównywanymi rozkładami uważa się za losowe.

Wykorzystując test zgodności χ^2 można nawet dla niedużych n , zdecydowanie podjąć decyzję, który z wariantów postępowania A, B, C należy wykorzystywać do oszacowania przedziału ufności dla danej.

Ponieważ w wariancie A sposób postępowania jest znany, pozostają warianty B, C i D. Przedstawiono już zarys iteracyjnej metody postępowania w tych przypadkach, pozostaje tylko do określenia sposobu oszacowania /na podstawie aktualnych wartości odpowiednich statystyk/ wartości n_{j+1} , czyli ilości realizacji zmiennej losowej ξ niezbędnej do osiągnięcia wymaganej dokładności estymacji.

Oszacowanie n_{j+1} wykonuje się następująco:

1/ w przypadku wariantu B/ poprzez odpowiednie wykorzystanie wzoru III.3.13 dostaje się po przekształceniu

$$t_\alpha \cdot \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} \leq \varepsilon \quad \text{III.3.30}$$

z czego otrzymuje się oszacowanie

$$n_{j+1} \approx \left(\frac{\bar{s} - t_\alpha}{\varepsilon_0} \right)^2 \quad \text{III.3.31}$$

2/ w przypadku wariantu C przez analogiczne jak wyżej wykorzystanie wzoru III.3.14 dostaje się oszacowanie

$$n_{j+1} \approx \left(\frac{\bar{s} \cdot U_\alpha}{\varepsilon_0} \right)^2 \quad \text{III.3.32}$$

3/ w przypadku gdy korzysta się z wariantu D, można wykorzystując wzór III.3.13 i wykonując przekształcenie analogiczne jak w pkt 1 i otrzymać oszacowanie:

$$n_{j+1} \approx \frac{\bar{s}^2}{\varepsilon_0^2 \cdot \alpha} \quad \text{III.3.33}$$

W oparciu o przedstawione rozwiązania można pokusić się o opracowanie ogólnego algorytmu postępowania przy szacowaniu wiarygod-

ci obliczeń wykonywanych metodą symulacji Monte Carlo. Poniżej przedstawiono algorytm postępowania w przypadku szacowania wartości średniej \bar{X} pojedynczej zmiennej losowej ξ na podstawie n niezależnych realizacji ξ_1, \dots, ξ_n .

Przedstawione tutaj dotychczas metody i algorytm postępowania są słuszne w przypadku pojedynczych zmiennych losowych. W przypadkach bardziej złożonych, gdy ma się do czynienia z złożonymi wielkościami opartymi o jednoczesną realizację wielu zmiennych losowych, sytuacja ulega pewnej komplikacji, gdyż oszacowanie błędu od góry jest równe sumie błędów oszacowania przy poszczególnych zmiennych losowych.

$$\delta_{\Sigma} = \sum \delta_i$$

Z problemem szacowania wiarygodności bezpośrednio związane jest podniesienie oceny realności modelu.

Podstawowym warunkiem niezbędnym dla tego, aby móc przeprowadzić ocenę realności modelu jest dysponowanie zarówno danymi wejściowymi jak i wyjściowymi dotyczącymi systemu rzeczywistego. Dane wejściowe są obserwacjami dokonаныmi na elementach które opisują system, dane wyjściowe są zaś wielkościami, które prezentują zachowanie się systemu. Oczekuje się, że po wprowadzeniu danych mających charakter historyczny, model systemu wygeneruje wyjście, które będzie podobne do wielkości, jakie powstają w systemie rzeczywistym po wprowadzeniu takich samych danych wejściowych. Stąd wynika, że jedynym sposobem sprawdzenia modelu jest porównanie otrzymanych z niego wyników z tymi, jakich dostarcza rzeczywisty system. Można tego dokonać po uprzednim poddaniu modelu "działania historii".

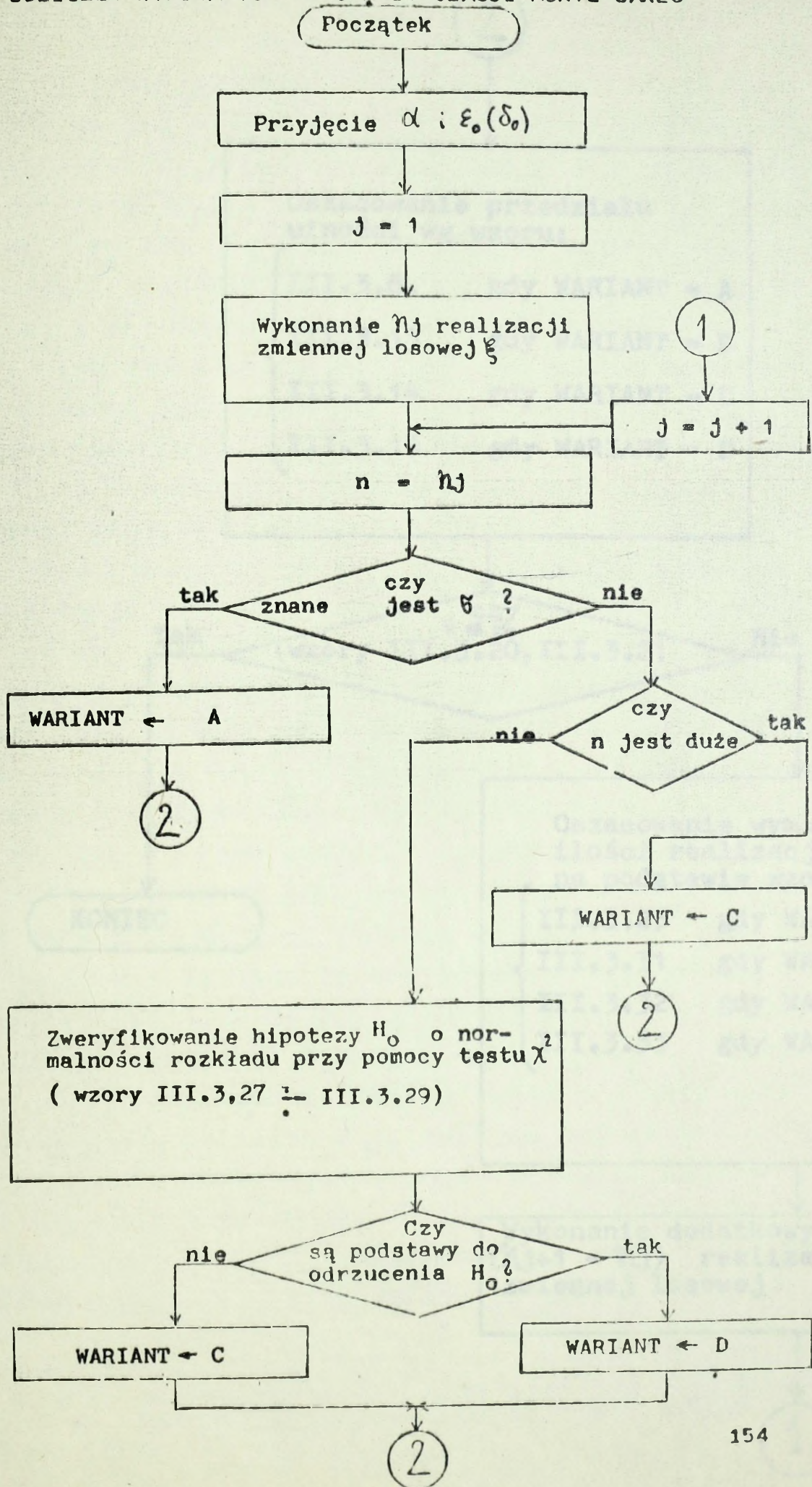
Niech danymi wyjściowymi będą $X_{t,i}$ i $Y_{t,i}$ oznaczające odpowiednie wartości /np. efektywności bojowej/ w momencie - t , dla wariantu i odpowiednio systemu i modelu. Wówczas wyznacza się

$$Z_{t,i} = X_{t,i} - Y_{t,i} \quad \text{dla} \quad t = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, l}$$

Następnie bada się istotność statystyki $\bar{Z}_{n,i}$.

W tych przypadkach wyniki oparte są na tych samych danych wejściowych. Dlatego też oczekuje się, że $X_{t,i}$ i $Y_{t,i}$ będą dodatnio skorelowane. $\bar{Z}_{n,i}$ powinno więc mieć mniejszą wariancję od tej, jaka wyliczyłaby, gdyby wykorzystywano niezależne dane wejściowe. Zaostrożoną kontrolą zgodności modelu z systemem rzeczywistym powinna polegać na sprawdzeniu hipotezy, że ciąg $Z_{1,i}, Z_{2,i}, \dots, Z_{n,i}$ ma zerową wartość oczekiwaną, oraz że jest to zbiór obserwacji niezależnych. Ist-

ALGORYTM POSTĘPOWANIA PRZY SZACOWANIU WIARYGODNOŚCI
 OBLICZEŃ WYKONANYCH METODĄ SYMULACJI MONTE-CARLO



2

Oszacowanie przedziału
ufności wg wzoru:

III.3.8.	gdy WARIANT = A
III.3.13	gdy WARIANT = B
III.3.14	gdy WARIANT = C
III.3.19	gdy WARIANT = D

Tak czy $\varepsilon \leq \varepsilon_0$ Nie
(wzory III.3.20, III.3.21)

KONIEC

Oszacowanie wymaganej
ilości realizacji n_{j+1}
na podstawie wzoru :

III.3.23	gdy WARIANT = A
III.3.31	gdy WARIANT = B
III.3.32	gdy WARIANT = C
III.3.33	gdy WARIANT = D

Wykonanie dodatkowych
($n_{j+1} - n_j$) realizacji
zmiennej losowej

1

ę specjalne testy statystyczne do tego celu^{x/}.

Przy badaniu niezależności przyjęcie sprawdzonej hipotezy oznacza różnicę między wartością $Y_{t,i}$ /pochodzącą z modelu/ a $X_{t,i}$ /pochodzącą z realnego systemu/, wykazuje wyłącznie błąd niesystematyczny, który wynika z aproksymacji modelu do rzeczywistego systemu. Stosowanie takiej procedury wykracza jednak poza występujące w sprawie potrzeby uzyskania użytecznego modelu.

W literaturze zwraca się uwagę na problem wyboru miernika dobroci modelu. W modelach ekonomicznych miernikiem tym często jest koszt funkcjonowania, w systemach masowej obsługi średni czas oczekiwania na obsługę lub też średnia długość kolejki, w systemie OPL miernikiem takim powinny być wskaźniki efektywności bojowej. Konieczne jest sprawdzanie zgodności takich mierników wykorzystywanych zarówno w modelu jak i w systemie rzeczywistym. Wyrażając się prościej, wygodny model powinien dostarczać takiej wartości miernika dobroci, która doprowadziłaby do podjęcia takiej samej decyzji, jaką wyjąłoby na podstawie miernika dobroci wyznaczonego w badaniach systemu rzeczywistego. Dlatego też struktura badania powinna być związana z podstawowym przedmiotem oraz celem badań.

Jeśli okaże się, że $\bar{Z}_{n,I}$ jest odchyleniem statystycznie istotnym, należy dokładniej poznać sam system oraz zachowanie się modelu, w ten sposób zredukować wykrytą różnicę. Na wykrycie tych różnic pozwala analiza widmowa szeregów czasowych $X_{t,i}$, $Y_{t,i}$, dzięki której można decydować o tym w jaki sposób zmodyfikować model. Łatwo jest również zauważyć, że tego rodzaju badanie umożliwia dodatkowo sprawdzenie zgodności zachowania się modelu z rzeczywistym systemem. Można rozważyć sytuację, w której strumień danych wejściowych jest dostępny dla prowadzącego badanie. Zakładając, że dostępne jest wejście $X_{1,i}, \dots, X_{n,i}$ na podstawie modelu można w prosty sposób wygenerować szereg $Y_{1,i}, \dots, Y_{n,i}$ obliczyć $\bar{Z}_{n,I}$ oraz sprawdzić istotność średniej. W tym przypadku należy jednak oczekiwać, że $\bar{Z}_{n,I}$ będzie miało większą wariancję niż poprzednio. W konsekwencji sama procedura weryfikacyjna powinna być bardziej tolerancyjna dla odchyleń między zachowaniem się systemu a zachowaniem się modelu.

Np. test oparty na periodogramie przedstawiony w podrozdziale 7.5 pracy G.S. FISHMAN "Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody" PWE W-wa 1981.

4. Metodologiczne aspekty planowania procesu badań oraz statystycznej obróbki rezultatów eksperymentów w badaniach optymalizacyjnych

Jednym z podstawowych problemów związanych z optymalizacją procesu kierowania obroną przeciwlotniczą jest fakt, że nieokreślona w postaci jawnego zapisu funkcyjnego zależność wiążąca ze sobą parametry wejściowe procesu /systemu/ i wskaźniki efektywności bojowej /rezultaty działania/. Dla każdego badanego wariantu procesu /systemu/ dane o odpowiadających im wskaźnikach efektywności bojowej uzyskuje się w drodze obserwacji eksperymentów wykonywanych na modelu systemu /w wybranych przypadkach na realnym systemie/. Dlatego postępowanie optymalizacyjne cechuje znaczne podobieństwo do badań doświadczalnych na obiektach technicznych. Badania eksperymentalne prowadzi się tu w celu określenia związków między wartościami parametrów wejściowych a ilościowymi wskaźnikami efektywności /efektywności bojowej/ procesu /systemu/, zwykle po to, aby ostateczny rezultat wyznaczyć optymalne warianty zestawów parametrów wejściowych. Badania takie, niemożliwe do prowadzenia w sposób kompleksowy w realnym systemie, wykonuje się głównie w oparciu o odpowiedni model systemu^{x/}.

Po to aby badania te były prowadzone nie tylko poprawnie ale i efektywnie, niezbędne jest przyswojenie i odpowiednie wykorzystanie elementów teorii planowania doświadczeń.

Zgodnie z teorią planowania doświadczeń^{xx/} ... "prawidłowe postępowanie optymalizacyjne wymaga określenia:

- modelu matematycznego obiektu badań lub jeżeli to nie jest możliwe jedynie funkcji obiektu badań

$$Z = F(x_1, \dots, x_i)$$

- ograniczeń, nazywanych często warunkami ograniczającymi /w/, wyrażonych na wielkości charakteryzujące obiekt badań, najczęściej mają one postać tzw. ograniczeń słabych:

$$x_{kmin} \leq x_k \leq x_{kmax}$$

- kryterium optymalizacji /wskaźnika jakości/ w postaci wielkości oraz jej zależności od funkcji obiektu, zwanej funkcją celu /funkcją kryterium optymalizacji, funkcją kryterialną itp./:

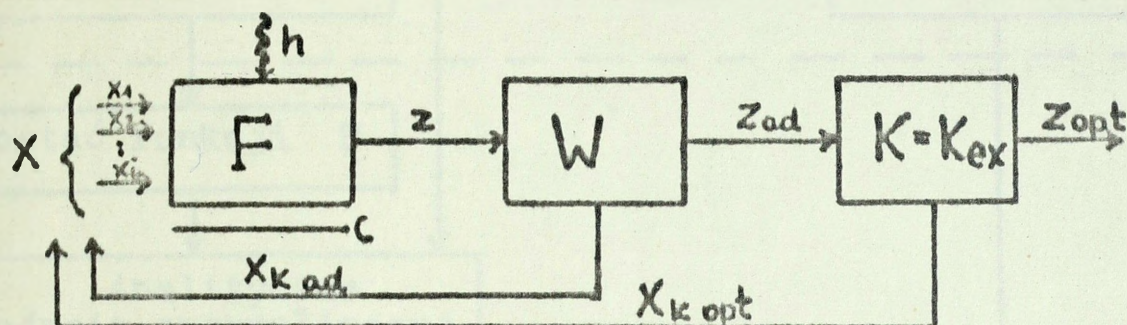
^{x/} W tym przypadku model symulacyjny oprogramowany i zaimplementowany na EMC ODRA-1305.

^{xx/} Terminologię dotyczącą planowania eksperymentów przyjęto za opracowaniem: Polański Z. "Planowanie doświadczeń w technice" PWN W-wa 1984.

$$K = \mathcal{H}(z) = \mathcal{H}[F(x_1, \dots, x_i)]$$

$$K = \mathcal{H}(z, x_1, \dots, x_i)$$

Wiązku z tym doświadczalne badania optymalizacyjne można przed-
 ać przy pomocy następującego schematu



Rys. III.4.1.

W ogólnym przypadku optimum funkcji obiektu badań wyznacza się
 w następujący sposób:

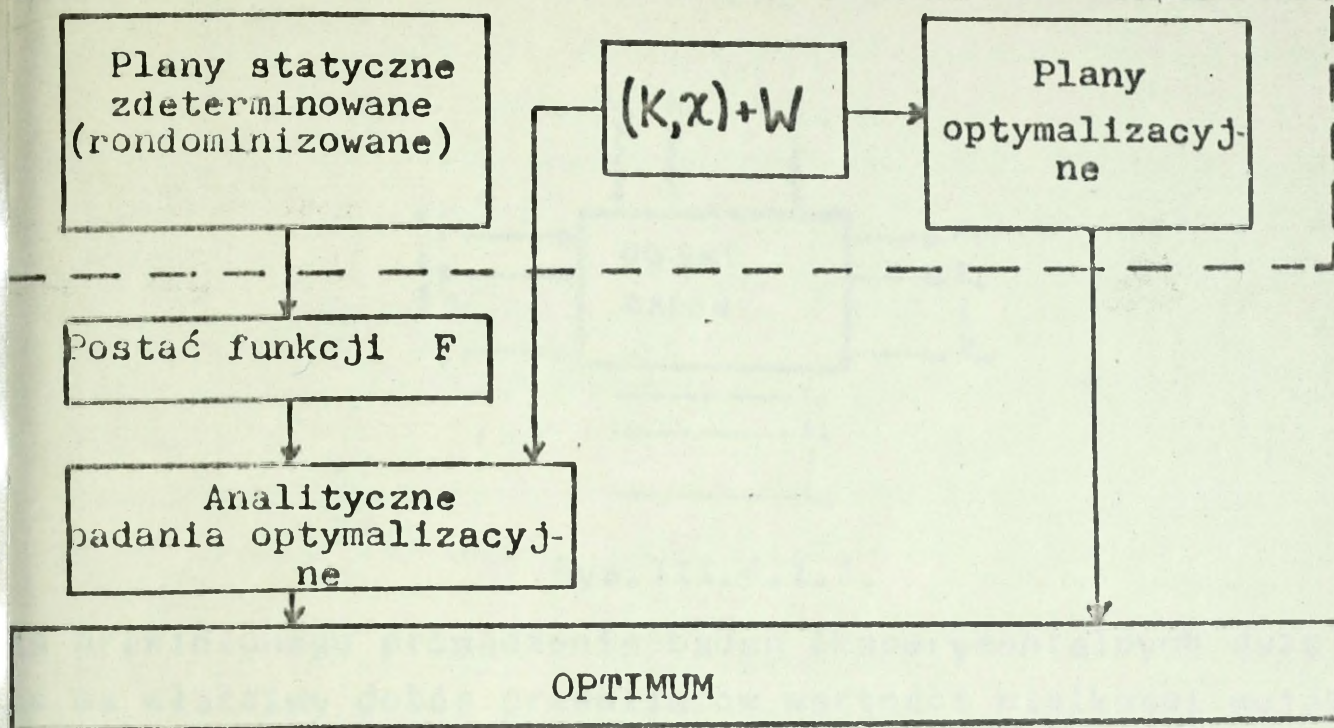
1 / identyfikuje się na drodze doświadczalnej funkcję obiektu ba-
 dań F , a następnie na jej podstawie wyznacza ekstrema przyjętej
 funkcji celu $K = \mathcal{H}(z)$ lub bezpośrednio ekstrema funkcji obiektu ba-
 dań /jeśli $K \equiv z$ /. Stosuje się przy tym, szeroko znane i mające ob-
 jądną bibliografię metody matematycznego wyznaczania ekstremum,
 w tym w szczególności metody planów doświadczalnych, w których funk-
 cje obiektu badań wyznaczone zostają za pomocą odpo-
 wiednich planów doświadczalnych^{x/}, a zwłaszcza tzw. planów statycznych
 deterministycznych oraz pomocniczo planów statycznych randomizowa-
 nych.

2 / rezygnuje się z identyfikacji funkcji F obiektu badań i wyzna-
 cza optimum w szczególności w sposób na drodze doświadczalnej bezpośrednio ekstre-
 ma funkcji celu lub funkcji obiektu badań. Sposób ten określa się
 nazwą doświadczalnych badań optymalizacyjnych lub optymalizacją
 doświadczalną, będącą odpowiednikiem tzw. metod poszukiwania ekstre-
 ma bez modelu. Stosowane w tym celu plany doświadczalne nazywa się
 planami optymalizacyjnymi.

Metodykę optymalizacji obiektów w badaniach doświadczalnych moż-
 na przedstawić przy pomocy następującego schematu:

 Niektóre z tych planów przedstawiono w dalszej części podroz-
 działu.

DOSWIADCZALNE BADANIA OPTYMALIZACYJNE



Rys. III.4.2.

w dalszej części podrozdziału przedstawiono w ogólny sposób działania związane z wymienionymi wyżej dwoma podstawowymi metodami planowania tj. zarówno sposób planowania i przeprowadzania eksperymentów ukierunkowanych na wyznaczenie funkcji obiektu badań - F , jak i plany optymalizacyjne czyli poszukiwanie ekstremum bez wyznaczenia funkcji F .

4.1. Identyfikacja funkcji obiektu badań F na drodze eksperymentalnej

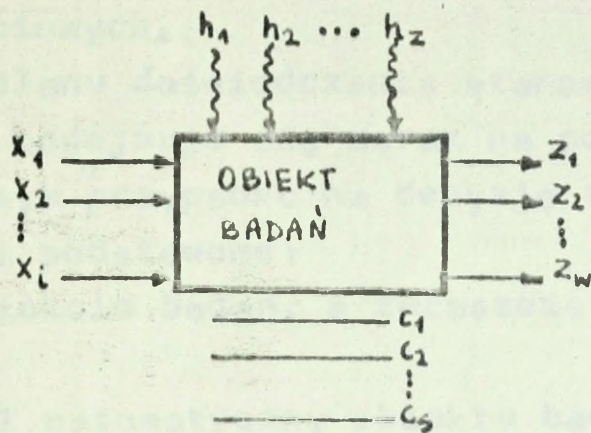
Wielkości charakteryzujące obiekt badań można z punktu widzenia planowania doświadczeń podzielić na następujące grupy:

- wielkości wejściowe /wielkości niezależne, czynniki badane/
 $x_2, \dots, x_k, \dots, x_1$ których wartości można dobierać tworząc doświadczenia, $X = \{x_1, \dots, x_l\}$

- wielkości wyjściowe /wielkości wynikowe, wielkości zależne, czynniki wynikowe/
 $z_1, \dots, z_p, \dots, z_w$ których wartości stanowią wyniki warunków zależnych od ustalonych w planie eksperymentu wartości wielkości wejściowych, $Z = \{z_1, \dots, z_w\}$

- wielkości stałe /czynniki stałe/
 c_1, \dots, c_s , których wartości nie zmienia się w trakcie realizowania badań doświadczalnych, $C = \{c_1, \dots, c_s\}$

wielkości zakłócające /czynniki zakłócające/ h_1, \dots, h_z które są znane, albo znane i mierzalne, lecz celowo pomijane, a ich wpływ przypadkowy.



Rys. III.4.1.1.

La prawidłowego prowadzenia badań eksperymentalnych duże znaczenie ma właściwy dobór przedziałów wartości wielkości wejściowych i dyskretyzacja. Przedsięwzięcia te z punktu widzenia ich ujęcia matematycznego są banalne, jednocześnie jednak są to czynności, które w zasadniczy sposób wykazują różnicę pomiędzy teorią doświadczalną w ujęciu matematycznym, a metodyką badań doświadczalnych. Przyjmując określone przedziały domknięte wartości wielkości wejściowych $[x_{k, \min}, x_{k, \max}]$ należy zawsze mieć na uwadze możliwość prawidłowego funkcjonowania obiektu badań w przyjętym przedziale wartości wejściowych także przy pewnych, nawet granicznych /maksymalno-minimalnych/, skojarzeniach wartości wszystkich wielkości wejściowych. Oczywiście dążyć do minimalizowania przedziałów zmian wartości wielkości wejściowych, może to jednak równocześnie podważyć ogólniejsze podejmowanie badań doświadczalnych, gdyż małe przedziały to prowadząc rzecz konsekwentnie do absurdu, przedziały ograniczone do tej wielkości. Następnym zagadnieniem to dyskretyzacja wartości wielkości wejściowych w przyjętym przedziale. Podobnie jak ustalenie zakresu wartości dyskretyzacja wymaga sprawdzenia technicznej możliwości jej realizacji. Ważny jest tutaj także aspekt ekonomiczny, gdyż wzrost liczby możliwych wartości poszczególnych czynników pociąga za sobą wykładniczy wzrost możliwych wariantów zestawów wielkości wejściowych, a co za tym idzie koniecznych do wykonania eksperymentów badawczych. Przed przystąpieniem do eksperymentów badawczych należy odpowiednio je zaplanować. Plan doświadczenia to ustalony na podstawie przyjętych zasad.

kających z teorii doświadczeń, zbiór układów wartości wielkości wyjściowych, dla których wyznacza się, za pomocą właściwych obiektów badań metod i środków pomiarowych odpowiadające im zbiory wartości wielkości wyjściowych.

Wybór właściwego planu doświadczenia stanowi jedną z ważniejszych decyzji, którą podejmuje się zaraz na początku badań eksperymentalnych. W ogólnym przypadku na decyzję tę mają wpływ co najmniej trzy przesłanki podstawowe:

informacja o obiekcie badań, a zwłaszcza o rodzaju obiektu i własności;

jakościowy model matematyczny obiektu badań, związany bezpośrednio ze stanem znajomości właściwych temu modelowi podstaw teoretycznych;

cel badań doświadczalnych, a zwłaszcza, czy są to badania poczynne, użyteczne lub badania łączące obydwa cele razem.

Przesłanki powyższe są jednak zbyt ogólne, aby mogły stanowić podstawę do wyboru konkretnego planu. Niezbędne jest bardziej dokładne określenie kryteriów wyboru planu.

Dr. POLAŃSKI w pracy /61/ proponuje następujące trzy kryteria wyboru planu:

- kryterium realizowalności;
- kryterium informatywności;
- kryterium efektywności.

Kryterium realizowalności to sprawdzenie, czy plan doświadczenia jest możliwy do zrealizowania w odniesieniu do rzeczywistego obiektu badań przy zastosowaniu określonych metod i środków pomiarowych. Informatywność badań doświadczalnych określana jest ilością informacji, którą uzyskuje się na podstawie analizy wyników badań. Kryterium informatywności to sprawdzenie, czy plan przyjęty do realizacji eksperymentu zapewnia uzyskanie informacji niezbędnej do osiągnięcia celu badań. Podstawowym, a zarazem najbardziej ogólnym kryterium informatywności jest sprawdzenie, czy plan doświadczenia umożliwia utworzenie modelu matematycznego obiektu badań. Wybór odpowiedni jest w tym przypadku decyzją arbitralną. Arbitralność poprzedzającej decyzji wynika przede wszystkim z tego, że model matematyczny powstaje nie tylko w wyniku analizy statystycznej wyników pomiarów, lecz również w wyniku analizy merytorycznej, uzależnionej od specyfiki rzeczywistego obiektu badań. Inne kryterium informatywności polega na sprawdzeniu, czy plan doświadczenia umożliwia

rowanie na podstawie wyników pomiarów funkcji obiektu badań. Zwiększenie wyniku powyższej oceny zależy od postaci funkcji. Każdy eksperyment, dla którego liczba układów wartości wielkości wejściowych n jest nie mniejsza od niewiadomej liczby współczynników N_b występujących w funkcji obiektu może, przy pewnych warunkach dodatkowych, spełnić tego rodzaju kryterium informatywności:

$$n \geq N_b$$

Są również ważną miarą ilością informatywności planów, zwłaszcza w zakresie badań optymalizacyjnych jest wartość i niedokładność kryterium optymalizacji K lub $K \approx Z$. Cel badań w postaci optymalizacji pociąga za sobą kryterium informatywności wyrażone przede wszystkim w postaci ilościowej oceny poszukiwanego optymalnego kryterium efektywności to sprawdzenie, czy plan doświadczenia, możliwy do realizacji i zapewniający informatywność odpowiadającą celom badań, jest jednocześnie planem minimalizującym nakłady wymagane do jego realizacji.

W dalszej części podrozdziału podano ogólne charakterystyki podstawowych planów doświadczeń^{x/} oraz zasady stosowane przy analizie wyników eksperymentów.

4.1.1. Plany kompletne

Plany kompletne to podstawowy rodzaj planów eksperymentów. Są podstawą do tworzenia innych rodzajów planów i aczkolwiek są stosowane bardzo rzadko, to ich opisanie jest niezbędne dla jasności konsekwencji dalszych rozważań.

Przy planach kompletnych stosuje się zasadę tworzenia kompletnego zbioru układów polegającą na wyczerpaniu wszystkich możliwości utworzenia różnych skojarzeń wartości wielkości wejściowych X_2, \dots, X_1 , wpływających na wielkość wyjściową. Plany kompletne zapewniają maksymalną informatywność, ale minimalną efektywność. Plan kompletny jest podstawowym planem doświadczenia, jak gdyby celem, według którego są opracowywane wszystkie inne plany, a zwłaszcza plany selekcyjne, polegające z reguły na racjonalnym ograniczeniu liczby układów występujących w planie kompletnym.

Szczegółowe charakterystyki poszczególnych planów można znaleźć w materiałach źródłowych np. we wspomnianej już pracy /61/ Z. POLAŃSKIEGO.

w zależności od układu możliwych wartości poszczególnych wielkości wejściowych plany kompletne można podzielić na plany:

- typu $n_k \neq \text{const}$ /różnowartościowe/ tj. takie, w których liczba wartości różnych wielkości wejściowych jest niejednakowa;
- typu $n_k = \text{const}$ /jednakowowartościowe/ tj. takie, w których dla wartości dla różnych wielkości wejściowych jest jednakowa.

W grupie planów jednakowowartościowych można dokonać kolejnego podziału w zależności od liczby wartości wielkości wejściowych/dwuwartościowe, trójwartościowe itp./.

Plany kompletne nie są zbyt często stosowane, gdyż niezależnie od liczby problemów związanych z aproksymacją funkcji obiektu, występują dwa dość istotne powody ich ograniczonego zastosowania:

1. liczba układów wymaganych do ich realizacji - n , określone

formułą:

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_i = \prod_{k=1}^i n_k$$

gdzie: n_k - liczba wartości k -tej wielkości wejściowej/ może być duża, a po drugie - co ważniejsze, istnieją inne, konkurencyjne plany selekcyjne.

4.1.2. Plany monoselekcyjne

Plany monoselekcyjne /zwane też jednoczynnikowymi/ opierają się od dawna znanym i stosowanym już od czasów Galileusza, pewnym ogólnym sposobie przeprowadzania badań doświadczalnych. Pojęcie selekcji w odniesieniu do planowania doświadczeń oznacza wybór pewnych układów wartości wielkości wejściowych. To, z czego się wybiera, stanowi zbiór wszystkich możliwych układów, czyli plany kompletne. Natomiast to, jak się wybiera, zależy od przyjętych kryteriów wyboru. Ponieważ kryteria te mogą być różne, w ten sposób tworzone są różne plany selekcyjne. Dzielą się one na dwie grupy podstawowe:

1. plany monoselekcyjne /jednoczynnikowe/;

2. plany poliselekcyjne /wieloczynnikowe/.

Plan monoselekcyjny opiera się na następujących zasadach metodycznych:

Badania przeprowadza się w ten sposób, że zmieniając kolejno wartości wielkości wejściowej X_k , przyjmuje się pewne stałe wartości pozostałych wielkości wejściowych i mierzy się odpowiednie wartości wielkości wyjściowej. Otrzymuje się w ten sposób, dla przedziału

$x_{k_{min}} \leq x_k \leq x_{k_{max}}$ obejmującego n_k wartości dyskretnych, pewną funkcję $f(x_k)$. Następnie bada się wpływ kolejnych wielkości wejściowych przy ustalonych wartościach pozostałych wielkości wejściowych z dotychczas badanymi wielkościami x_1, \dots, x_{k-1} . Postępowanie kontynuuje się aż do badań wpływu ostatniej wielkości wejściowej x_1 . Ustalane chwilowo wartości wielkości wejściowych nazywają się wartościami centralnymi $x_{k,c}$. Wybór tych wartości nie jest w żadnym wypadku narzucony przez plan doświadczenia, lecz stanowi, w większym lub mniejszym stopniu, uzasadnioną merytorycznie na podstawie analizy obiektu badań i po uwzględnieniu ich celu, decyzję badacza - realizatora planu. Mogą to być lecz nie muszą, wartości średnie lub ekstremalne dla przyjętego zakresu wartości wielkości wejściowych, wartości określające przypuszczalne optimum lub inne interesujące badacza wartości charakteryzujące obiekt.

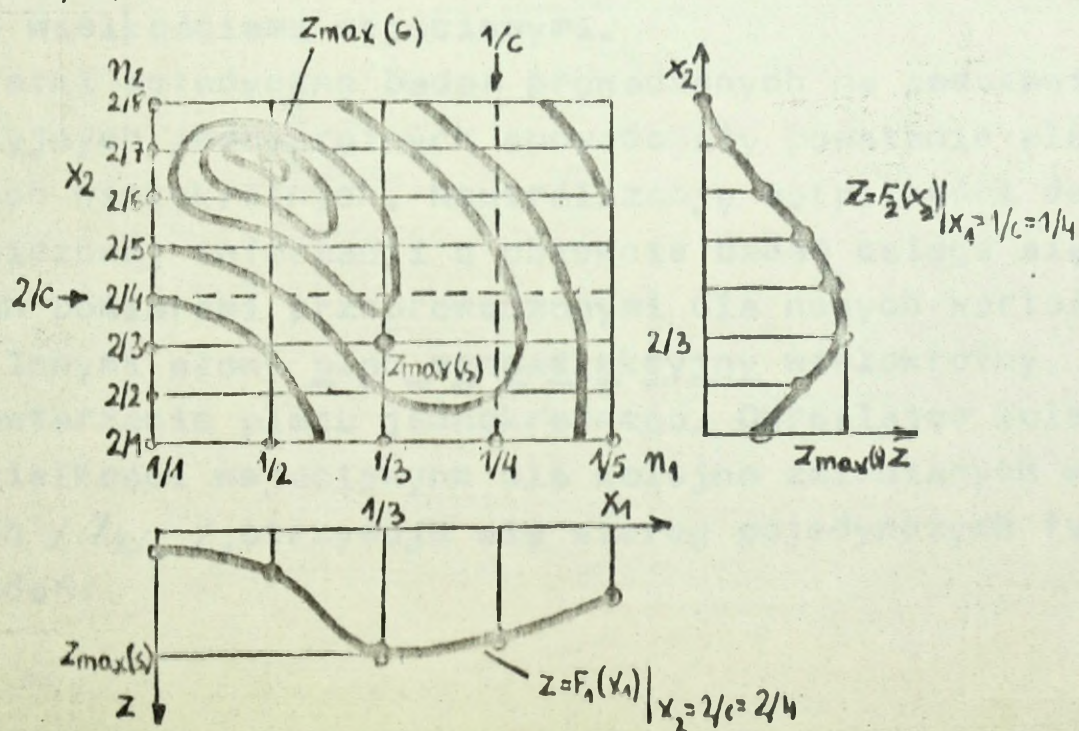
Ponieważ zbiór wartości centralnych może być tylko jeden lub może podlegać sukcesywnej zmianie, stanowi to proste kryterium dalszego oddziaływania planów monoselekcyjnych na:

- plany monoselekcyjne jednokrotne;
- plany monoselekcyjne wielokrotne.

Plan monoselekcyjny jednokrotny odznacza się tym, że określa się dynamicznie wpływ każdej z wielkości wejściowych tylko jeden raz:

- chwilowo ustalonym jednym i niezmiennym zbiorze wartości cenowych pozostałych wielkości wejściowych. Porównanie informatywności planów monoselekcyjnych jednokrotnych oraz kompletnych przedstawia poniższy rysunek na przykładzie wykresu warstwicowego funkcji

$$Z = F(x_1, x_2)$$



Rys. III.4.1.2.1

Neutralizacja planu kompletnego wymaga przeprowadzenia pomiarów dla $n_1 \cdot n_2 = 5 \cdot 8 = 40$ układów, przy czym uzyskuje się wartości wielkości wyjściowej z założoną dyskretnością. Natomiast realizacja planu monoselekcyjnego wymaga pomiarów dla $n = n_1 + n_2 = 5 + 8 = 13$ układów. Liczba pomiarów jest przeszło trzykrotnie mniejsza, lecz otrzymana informacja również niewielka. Wykresy pojedynczych funkcji obiektu ba-

$$Z = F_1(X_1) \quad , \quad X_2 = 2/C$$

$$Z = F_2(X_2) \quad , \quad X_1 = 1/C$$

nie pozwalają wprowadzić istnienie maksimum $Z_{\max}(G)$, lecz jest to pewna hipoteza, wynikająca z koncepcji planu monoselekcyjnego. Nie znając rzeczywistej funkcji obiektu badań, lecz kierując się jedynie pomiarowymi funkcjami po prostu nie wiadomo, że istnieje właściwe maksimum $Z_{\max}(G)$ dla $X_1 = 1/2$ oraz $X_2 = 2/7$.

Stosowanie planu monoselekcyjnego jednokrotnego uzasadnione jest przede wszystkim wówczas, gdy realizator badań przyjmuje podobnie jak czyniono to od czasów Galileusza do pierwszych lat XX wieku, że obiekt badań nie jest zbyt złożony, a zwłaszcza nie występują istotne oddziaływania /interakcje/ między wielkościami wejściowymi - wpływ każdej z wielkości wejściowych nie zależy od wartości pozostałych wielkości. Tym samym zakłada mniej lub bardziej świadomie, że obiekt badań odpowiada małemu i izolowanemu systemowi, choć najchętniej, że może on być modelowany liniowo.

Tymczasem obiekty badań /w szczególności system OPL/ są z reguły obiektami złożonymi /wielkie systemy/. Linearyzacja stosowana jest jedynie jako forma uproszczenia przy małych zakresach zmian wartości wielkości wejściowych. Występują zjawiska wymagające modelowania funkcjami nieliniowymi oraz uwzględnienia współdziałania między wielkościami wejściowymi.

Niedostatki metodyczne badań prowadzonych na podstawie planów monoselekcyjnych jednokrotnych spowodowały powstanie planów monoselekcyjnych wielokrotnych. Neutralizację wątpliwości dotyczących ograniczonej informacji o obiekcie badań osiąga się uzupełniając plan pomiarami przeprowadzonymi dla nowych wartości cenionych. Innymi słowy plan monoselekcyjny wielokrotny, to wielokrotne powtarzanie planu jednokrotnego. Określając kolejno wpływ każdej z wielkości wejściowych dla kolejno zmienianych wartości cenionych / $X_{k/C}$ /, otrzymuje się szereg pojedynczych funkcji obiektu badań:

$$Z = F_k^y(x_k) \quad , \quad k=1, \dots, i \quad y = 1, II, \dots, W$$

Każde nowe układy powodują wzrost ogólnej liczby układów, którą na w przybliżeniu określić wzorem:

$$n \approx W \cdot \left(1 - i + \sum_{k=1}^i n_k\right)$$

ie: W - jest wielokrotnością powtórzeń planu jednokrotnego. Dniejsza jest ocena informatywności, gdyż zależy ona całkowicie wyboru liczby "i" wartości centralnych. Wyraźnie odczuwa się k jakiejś zasady rządzącej wyborem wartości centralnych, czyli sobem wykonywania "przekrojów" rzeczywistej funkcji obiektu ba-, kolejno tworzących pojedyncze funkcje obiektu badań. Jak zaw- w nauce, gdy narastają wątpliwości i powstają nowe problemy, zę się nowe koncepcje ich rozwiązania. Tak narodziła się dyscy- na zwana teorią doświadczeń, której najważniejszym elementem t koncepcja metodyczna planowania doświadczeń, zwanych umownie nami poliselekcyjnymi /wieloczynnikowymi/.

.4.1.3. Plany selekcyjne

Plany poliselekcyjne /wieloczynnikowe/ należą do podstawowego tu współczesnej teorii doświadczeń. Istotnego kroku w tej dzie- nie dokonano w trakcie prac badawczych związanych z realizacją gramów lotów kosmicznych na przełomie lat pięćdziesiątych i śdziesiątych. Ogrom prac badawczych zmusił ich organizatorów, ym NASA w USA do opracowania i wykorzystania nowych metod bada- ch, zapewniających efektywną realizację zamierzonych celów. Podstawową zasadą tworzenia planów poliselekcyjnych jest celowy ór wartości wielkości wejściowych, oczywiście w założonym ich resie, w taki sposób, aby istniała możliwość uzyskania wymaga- informacji naukowej przy ograniczonych nakładach, czyli stosun- o małej liczbie pomiarów. Innymi słowy plan poliselekcyjny umo- lwia ustalenie ograniczonej liczby układów planu doświadczenia osób zapewniający otrzymanie adekwatnej funkcji obiektu badań. Przy tworzeniu planu monoselekcyjnego przyjmuje się: wcześniej salone, zwykle na podstawie przesłanek pozamethodycznych, określo- zbiory dyskretnej wartości każdej z wielkości wejściowych. War- ci te można zmieniać, tworząc plan monoselekcyjny, lecz można i często w praktyce tak się postępuje, nie zmieniać ich, włą-

jąc je do planu monoselekcyjnego. Natomiast w planie poliselekcyjnym, ustalona, przy pewnych założeniach teoretycznych struktura planu odgrywa rolę nadrzędną i do niej należy dostosowywać zbiór wartości wielkości wejściowych. Przesłanki pozametodyczne czyli charakterystyka rzeczywistego obiektu badań, mają wpływ jedynie na szerokość zakresu /przedziału/ wartości wielkości wejściowych $[X_{k \min}, X_{k \max}]$, dyskretyzacja wewnątrz przyjętego przedziału jest całkowicie porządkowana przyjętemu planowi doświadczenia. Plany poliselekcyjne w ogólnym przypadku odznaczają się dobrą informatywnością, którą uzyskuje się za cenę utrudnionej realizowalności.

Istnieje szereg różnych sposobów klasyfikowania planów doświadczeń. Jeden z nich polega po prostu na zestawieniu planów w grupy klasyfikacyjne wyróżniające się pewną charakterystyczną cechą. Na podstawie można wyróżnić następujące ważniejsze grupy planów poliselekcyjnych /wieloczynnikowych/:

- frakcyjne /częściowo-ułamkowe/;
- ortogonalne;
- rotalne /rotatabilne/;
- optymalne /nie należy ich mylić z optymalizacyjnymi/;
- specjalne.

W przypadku planów kompletnych występuje nadmiar ilości układów planu n w stosunku do potrzeb wynikających z aproksymacji /lub interpolacji/ funkcji obiektu wybraną postacią wielomianu. Liczba wiadomych współczynników wielomianu N_b zależy oczywiście od postaci wielomianu, można przy tym utworzyć różnicę $R = n - N_b$, którą częściowo utożsamia się ze stopniami swobody. Układy stanowiące "dwyzkę" poza liczbę $n = N_b$ są wykorzystywane do analizy statystycznej niedokładności i istotności. Rzecz w tym aby R nie było zbyt duże, gdyż każdy nowy układ to dodatkowe eksperymenty, a tym samym zmniejszenie efektywności badań.

Pierwszą grupę planów poliselekcyjnych stanowią plany frakcyjne. Powstają one z zasady ograniczenia liczby układów w taki sposób, aby stanowiły one jedynie pewną część, ułamek planu kompletnego. W wyborze układów planu frakcyjnego stosuje się relacje zwane relacjami generującymi. Najczęściej stosuje się tzw. plany dwuwartościowe tj. takie, w których poszczególne wielkości wejściowe przyjmują po dwie wartości. Relacja generująca może mieć wtedy np. następującą postać: $\hat{X}_k = \hat{X}_q \cdot \hat{X}_l$

nie: \hat{x}_k to unormowana do przedziału $[-1,1]$ wartość k-tej wielkości wejściowej, wyznaczona z reguły:

$$\hat{x}_k = \frac{2 \cdot x_k - x_{k \min} - x_{k \max}}{x_{k \max} - x_{k \min}}$$

a więc:

$$\hat{x}_k = -1 \Leftrightarrow x_k = x_{k \min}$$

$$\hat{x}_k = +1 \Leftrightarrow x_k = x_{k \max}$$

acza to, że wybierane są tylko te warianty zestawów wielkości ściowych, dla których spełniony jest warunek opisany w postaci czynu $\hat{x}_k = \hat{x}_q \cdot \hat{x}_i$ /zachodzi relacja generująca/.

W poniższej tabeli przedstawiono porównanie układów planu komple- o i poliselekcyjnego frakcyjnego w przypadku trzech wielkości ściowych przyjmujących po dwie wartości, przy relacji generują-

$$\hat{x}_3 = \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2$$

TABELA III.4.1.3.1

Plan kompletny			Plan frakcyjny			Uzasadnienie wyboru układu planu		
Numer układu	x_1	x_2	x_3	Numer układu	x_1		x_2	x_3
1	-1	-1	-1					
2	+1	-1	-1	1	+1	-1	-1	$x_1 \cdot x_2 = /+1/ \cdot /-1/ = -1 = x_3$
3	-1	+1	-1	2	-1	+1	-1	$x_1 \cdot x_2 = /-1/ \cdot /+1/ = -1 = x_3$
4	+1	+1	-1					
5	-1	-1	+1	3	-1	-1	+1	$x_1 \cdot x_2 = /-1/ \cdot /-1/ = +1 = x_3$
6	+1	-1	+1					
7	-1	+1	+1					
8	+1	+1	+1	4	+1	+1	+1	$x_1 \cdot x_2 = /+1/ \cdot /+1/ = +1 = x_3$

Jak widać w planie frakcyjnym ilość układów jest dwukrotnie większa niż w analogicznym planie kompletnym. Relacja generująca wykorzystywana jest nie tylko do wyboru układów planu, lecz również do analizy funkcji otrzymanej po jego zrealizowaniu^{x/}. W li-

Zamiast relacji generującej wykorzystuje się tutaj tzw. kontrast np. w powyższym przykładzie ma on postać $\hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_3 = 1$. Rzeczywisty obiekt badań aproksymuje się wielomianem liniowym $\hat{z} = b_0 + b_1 \cdot \hat{x}_1 + b_2 \cdot \hat{x}_2 + b_3 \cdot \hat{x}_3$ a przecież może być on obiektem, który powinno się modelować nieznanym wielomianem nieliniowym np.

$$\hat{z} = \beta_0 + \sum_{k=1}^3 \beta_k \cdot \hat{x}_k + \sum_{k=1}^3 \beta_{kk} \cdot \hat{x}_k^2 + \sum_{k=1}^3 \beta_{qk} \cdot \hat{x}_q \cdot \hat{x}_k$$

c.d.odnośnika na s.169

aturze podaje się szereg relacji generujących. Decyzję wyboru akcji, a tym samym układów planu pozostawia się realizatorom badań, którzy wiedząc jakie wielkości rzeczywiste kryją się za symbolicznym oznaczeniem wielkości wejściowych, decydują czy w ogóle na pominięcie współdziałań, a jeżeli tak to jakie /pierwszego, drugiego ... rzędu/.

Plany frakcyjne mają szczególne cechy^{x/} umożliwiające uproszczenie sposobu obliczeń współczynników wielomianu aproksymującego. Jednocześnie określone wartości każdego ze współczynników wielomianu aproksymującego są niezależne od wartości współczynników przy innych wielkościach wejściowych. Ma to ważne znaczenie, gdyż weryfikując istotność wpływu poszczególnych wielkości wejściowych, można uzyskać podstawy do odrzucenia niektórych z nich jako nieistotnych. Niezależność ocen ich wartości powoduje, że wyeliminowanie niektórych wielkości wejściowych z funkcji obiektu badań, wyrażonej pomocą wielomianu aproksymującego, nie ma wpływu na wartość pozostałych współczynników wielomianu. A ponadto wartości współczynników wielomianu aproksymującego są wyznaczone z minimalną wariancją. Istotniejsze ograniczenie związane z planami frakcyjnymi polega na tym, że stosuje się liniową funkcję obiektu badań, co każdorazowo powoduje bezwzględną konieczność merytorycznego uzasadnienia uszczalności stosowania takiego uproszczenia.

Rozwinięciem koncepcji planów dwuwartościowych są plany trójwartościowe, czterowartościowe itp. Plany te należą do ogólnej grupy frakcyjnych, lecz nie będą opisywane, gdyż wzrost liczby wartości wielkości wejściowych zmniejsza efektywność planu, a w przypadku dopuszczania się zwiększenia liczby układów i jednocześnie liczby wartości wielkości wejściowych, to lepiej stosować inne plany umo-

c.d. odnośnika ze s. 168

Dążąc do określenia związków między wyznaczanymi współczynnikami b , a nieznanymi współczynnikami β , określa się z kontrastu relacje $\hat{X}_1 = \hat{X}_1 \cdot 1 = (\hat{X}_1)^2 \cdot \hat{X}_2 \cdot \hat{X}_3 = \hat{X}_2 \cdot \hat{X}_3$

oznacza to, że współczynnik b_1 stanowi łączną ocenę β_1 oraz β_{23} . W podobny sposób dokonuje się analizy innych współdziałań $(X_q \cdot X_k)$ pozostają jeszcze składniki "kwadratowe" $\beta_{kk} \cdot X_k^2$, które mogą występować w rzeczywistym obiekcie, lecz nie są uwzględniane w liniowym wielomianie aproksymującym. Można wykazać, że "efekty nieliniowe, kwadratowe" przejmują stały współczynnik $b_0 \approx \beta_0 + \sum_{k=1} \beta_{kk}$

Są ortogonalne i rotatabilne.

Wielkości wyznaczenie nieliniowych funkcji obiektu badań. W takim przypadku zakłada się nieliniowość obiektu i stosuje właściwy w tym przypadku plan ortogonalny, rotacyjny lub optymalny i dopiero po analizie wyników dopuszcza się, jeśli to uzasadnione, przybliżenie liniową funkcją obiektu badań.

W tym kierunku rozwinęła się teoria doświadczeń, co spowodowało, plany wykorzystujące wielomiany nieliniowe nie wymagają zbyt dużej liczby pomiarów. Ponadto w planach tych występują najczęściej pewne grupy układów odpowiadające planowi kompletnemu lub frakcyjnemu dwuwartościowemu. Plany takie umożliwiają jak gdyby "po drodze" sprawdzenie adekwatności liniowej funkcji obiektu badań.

Ważną grupę planów poliselekcyjnych spełniających takie warunki stanowią tzw. plany ortogonalne, które są jednocześnie planami kompozycyjnymi. Tworzy się je jako kompozycję składającą się z planu kompletnego /lub planu frakcyjnego dla większej liczby wielkości wejściowych/ połączonego z pewnymi układami szczególnymi. Stosuje się je zwykle wtedy gdy istnieje potrzeba wyznaczenia wielomianu nieliniowego /np. drugiego stopnia/ - wymaga to jednak bezwzględnie zwiększenia liczby wartości wielkości wejściowych powyżej dwóch.

Stosowane dotychczas normowanie wielkości wejściowych w przedziale domkniętym $[-1, 1]$ zastępuje się normowaniem w szerszym przedziale $[-\alpha, \alpha]$ dla $|\alpha| \geq 1$, przy czym oznaczeniem α określa się pojęcie tzw. ramienia lub punktu gwiazdowego. Do normowania stosuje się wzór:

$$\hat{x}_k = \frac{x \cdot (2 \cdot x_k - x_{kmax} - x_{kmin})}{x_{kmax} - x_{kmin}}$$

Wyższe unormowane wartości wielkości wejściowych umożliwiają tworzenie planów, odnoszących się już do funkcji nieliniowych, w sposób ogólny, abstrahujący od rzeczywistych wartości stanowiących wielkości wejściowe.

Kryterium ortogonalności^{x/} planów leżące u podstaw planów orto-

Kryterium ortogonalności można formułować w różny sposób. Jeden ze sposobów polega na podaniu warunków na niektóre z wielkości zwanych momentami planu. Postuluje się np. zerowanie tzw. nieparzystych momentów, czyli sum o nieparzystych wykładnikach, w tym:

$$\sum_{u=1}^n \hat{x}_{q/u} \cdot \hat{x}_{k/u} = 0$$

oraz niezzerowe wartości parzystych momentów, a w tym:

$$\sum_{u=1}^n \hat{x}_{k/u}^2 = 0$$

gdzie: $\hat{x}_{i/j}$ - unormowana wartość i-tej wielkości wejściowej w j-tym układzie planu.

alnych powoduje, że wyznaczenie funkcji obiektu w postaci aproksymującego wielomianu nieliniowego /drugiego stopnia/ jest nie tylko w pełni możliwe /zapewniona informatywność planu/ i osiąga się to przy punkowo niewielkiej liczbie układów /dobra efektywność planu/, z jednocześnie występuje:

- niezależność oceny współczynników wielomianu aproksymującego;
- poważne ułatwienie sposobu obliczania współczynników wielomianu aproksymujących.

Szczególne duże znaczenie ma niezależność ocen współczynników wielomianu aproksymującego. Pochodzi ona stąd, że każdy współczynnik oblicza się z oddzielnego równania.

Ta cecha planu ortogonalnego umożliwia elastyczność działania podczas prowadzenia badań, gdyż jeśli w czasie prowadzenia badań występuje konieczność zwiększenia liczby wielkości wejściowych lub błędziań, można to zrobić i obliczyć odpowiednie nowe współczynniki wielomianu aproksymującego. Jeszcze ważniejsze jest powiązanie odwrotne, zmniejszające liczbę składników wielomianu aproksymującego.

Jeśli w wyniku analizy statystycznej okaże się, że określona wielkość wejściowa /składnik $b_k \cdot X_k$ lub $b_{kk} \cdot X_k^2$ wielomianu aproksymującego/ lub dowolne współdziałanie /składnik $b_{qk} \cdot X_q \cdot X_k$ / okażą się nieistotne, można je wyłączyć z wielomianu aproksymującego również zmieniając wartości pozostałych współczynników. Możliwość taka jest często wykorzystywana w analizie wyników badań i zapewnia znaczne korzyści.

Podstawowa wada planu ortogonalnego polega na tym, że nie jest najlepszy z punktu widzenia dokładności wielomianu aproksymującego; występują nie tylko błędy, które mogą być większe od błędów występujących w przypadku stosowania innych planów, lecz ponadto błędy te w znacznym stopniu zależą od wartości wielkości wejściowych.

Jak już wspomniano plan ortogonalny tworzy się jako kompozycję prostych planów. Tworzony jest on z następujących układów:
- tzw. jądra planu utworzonego z planu kompletnego lub frakcyjnego 2^x . Wartości wielkości wejściowych wchodzące do jądra planu są albo dwie; dla każdej z tych wielkości "i" odpowiadają wartościom ± 1 ;

Najczęściej plan frakcyjny stosuje się w przypadku większej liczby wielkości wejściowych, zwykle dla $i \geq 5$.

zw. punktów gwiazdnych, utworzonych z układów szczególnych, których wartości każdej z wielkości wejściowych odpowiadają wartościom unormowanym $0, +\alpha, -\alpha$;

zw. centrum planu odpowiadającego układowi utworzonemu z wartości X_k odpowiadających wartości unormowanej $\hat{X}_k = 0$

Układ planu ortogonalnego przedstawia poniższa tabela

TABELA III.4.1.3.2

U	\hat{X}_1	\hat{X}_2	...	\hat{X}_l
1	-1	-1		-1
2	+1	-1		-1
⋮	⋮	⋮		⋮
n_k	+1	+1		+1
n_{k+1}	$-\alpha$	0		0
n_{k+2}	$+\alpha$	0		0
n_{k+3}	0	$-\alpha$		0
n_{k+4}	0	$+\alpha$		0
n_{k+5}	0	0		⋮
⋮	⋮	⋮		⋮
$n_{k+2 \cdot l}$	0	0		$+\alpha$
$n_{k+2 \cdot l+1}$	0	0		0

jądro planu

punkty gwiazdne

centrum planu

Wartość α nie może być dobierana dowolnie, lecz tak aby był spełniony warunek ortogonalności^{x/}. Zwykle wykorzystuje się tutaj gotowe tabele w postaci charakterystyk planów zamieszczonych w materiałach źródłowych.

Wskazuje się, że plan ortogonalny jest jednocześnie planem kompozycyjnym, co pozwala na stosowanie następującego sposobu postępowania:

na podstawie układów tworzących jądro planu można wyznaczyć pewną funkcję obiektu badań, czyli liniowy wielomian aproksymu-

 Jeśli jądro planu jest planem kompletnym to stosuje się wzór:

$$\alpha = \alpha_{ort} = \sqrt{0,5 \cdot [\sqrt{2^i \cdot (2^i + 2 \cdot i + 1)} - 2^i]}$$

Jeśli jądro tworzy plan frakcyjny to obowiązuje wzór:

$$\alpha = \alpha_{ort} = \sqrt{0,5 \cdot [\sqrt{2^{l-p} \cdot (2^{l-p} + 2 \cdot i + 1)} - 2^{l-p}]}$$

gdzie: p - dodatnia liczba całkowita oznaczająca zmniejszenie liczby układów planu frakcyjnego w stosunku do planu kompletnego.

b/ Wykonuje się pomiary dla układu stanowiącego centrum planu i eprowadza za pomocą odpowiedniego testu statystycznego^{x/} weryfikację adekwatności liniowej funkcji obiektu badań do wyników pomiarze szczególnym uwzględnieniem różnic dla centrum planu ekspery-

tu;
c/ na podstawie rezultatów weryfikacji adekwatności podejmuje decyzje uwzględniające alternatywę:

- zakończenie badań, jeżeli liniowa funkcja obiektu badań jest kwatna do wyników rozmiarów, a wynik ten jest ponadto uzasadny merytotycznie; lub

- dalsza realizacja planu ortogonalnego.

ne jest przy tym, że ewentualna dalsza realizacja polega na wyaniu pomiarów jedynie dla pozostałych układów planu ortogonal- o, czyli tzw. punktów gwiazdnych;

d/ na podstawie wyników pomiarów dla wszystkich układów planu dro, centrum i punkty gwiazdne/ wyznacza się kwadratową funkcję ektu badań.

Podsumowując można stwierdzić, że plany ortogonalne zapewniają ktywną realizację badań /stosunkowo mała liczba układów/ a spo- obliczenia współczynników wielomianu aproksymującego zapewnia zależność ich ocen. Ujemną cechą jest stosunkowo znaczna nie- ładność wielomianu aproksymującego uzależniona dodatkowo od tości wielkości wejściowych. Można ją jednak ocenić przed bada- mi^{xx/} i po uznaniu za dopuszczalną przyjąć plan ortogonalny do- lizacji. W przeciwnym wypadku należy zastosować inny plan np. n rotalny /rotatabilny/. U podstaw tworzenia planów rotalnych eło dążenie do usunięcia podstawowej wady planów ortogonalnych im jest zależność niedokładności wielomianu aproksymującego od tości wielkości wejściowych^{xxx/}. Plan rotalny podobnie jak plan

/ Zwykle jest to test F SNEDECORA.

/ Stosuje się w tym celu specjalne dość rozbudowane w zapisie, ale proste w obliczeniach wzory. Znaleźć je można np. w pod- rozdz. 4.3 pracy /61/ Z. POLAŃSKIEGO. /wzory 4.46a i 4.46b s. 137/.

/ Warunek rotalności planu może być formułowany w różny sposób. Jego spełnienie oznacza, że wariancja wielomianu aproksymują- cego a tym samym poziom niedokładności jest stała dla różnych kul o promieniu $r = \sqrt{\sum_{k=1}^n x_k^2}$ współśrodkowych z początkiem układu współrzędnych w przestrzeni R^n . Tym samym możliwy jest obrót układu bez zmiany wariancji - stąd nazwa od ang. rotatable- obracający się, obrotowy.

ortogonalny jest planem kompozycyjnym zawierającym trzy rodzaje układów:

- jądro planu utworzone z planu kompletnego lub frakcyjnego dla wartości wielkości wejściowych odpowiadających wartościom unormowanym ± 1 ;
- punkty gwiazdne - tworzone podobnie jak w planie ortogonalnym;
- centrum planu - stanowiące pewną liczbę $n_0 > 1$ układów utworzonych z wartości wielkości wejściowych odpowiadających wartości unormowanej 0.

Od planu ortogonalnego plan rotalny różni się sposobem doboru wartości tzw. ramienia gwiazdznego $\alpha = \alpha_{rot} \quad \alpha_{rot} = \alpha_{ort}$. Wartości α_{rot} zmienia się z zależności

$$\alpha_{rot} = 2^{0,25 \cdot (i-p)}$$

Druga istotna różnica praktyczna polega na zwiększeniu liczby układów w centrum planu^{x/}.

Plany rotalne są bardziej informatywne niż plany ortogonalne ze względu na ujednoczoną niedokładność wyrażoną stałą /przy określonym promieniu kuli r / wariancją $S^2(\bar{z})$, w porównaniu z planem ortogonalnym dla którego ta wariancja zmienia się. Natomiast "płacą" jaką się za to płaci jest zmniejszenie efektywności planu spowodowane wzrostem liczby układów w centrum planu.

Jednym z nowszych osiągnięć teorii doświadczeń są plany optymalne^{xx/}, opracowane w latach 1959-1962. Interesujące jest stwierdzenie, że prace w tej dziedzinie były finansowane z funduszu NASA.

W dotychczas omawianych planach stosowano pewne kryteria /ortogonalności, rotalności lub połączone quasi rotalno-ortogonalności/. Stanowiły one własność planu, która mogła występować lub nie występować. Nie były to jednak wielkości podlegające ekstremalizacji, czyli nie można było poszukiwać w zbiorze planów tworzących

^{x/} W zależności od sposobu doboru liczby układów w centrum planu powstają różne odmiany planów rotalnych.

^{xx/} Uwaga: nazwy plany optymalne nie należy mylić z planami optymalizacyjnymi. Plany optymalne to takie, w których dobór układów zapewnia najlepsze zrealizowanie pewnego zamiaru np. najbardziej dokładniejszą ocenę wielomianu aproksymującego. Plany optymalizacyjne wykorzystuje się natomiast do poszukiwania ekstremum założonego kryterium /funkcji obiektu/.

plan ciągły ^{xx/}, takich zbiorów częstości f_u , dla których pewna wielkość, stanowiąca kryterium tworzenia planu, osiągałaby wartość ekstremalną. Istota koncepcji planu optymalnego polega na prowadzeniu pewnych miar, odpowiadających pojęciu kryterium planu świadczenia, umożliwiających wybór określonego planu dyskretnego z zbioru planów stanowiących plan ciągły.

W opracowanych i stosowanych dotychczas planach kryterium optymalności dobiera się wychodząc z postulatu informatywności, biorąc pod uwagę przede wszystkim określone miary niedokładności aproksymującej funkcji. Kryteria stosowane w planach optymalnych oznaczają się umownie dużymi literami alfabetu łacińskiego. Najczęściej stosowane jest tzw. kryterium optymalności D. Polega ono na minimalizacji objętości elipsoidy koncentracji rozkładu ocen współczynników funkcji aproksymującej ^{xx/}.

Należy zwrócić uwagę, że stosowanie planów optymalnych prowadzi zwykle do zmniejszenia efektywności planu, gdyż znacznie zwiększa liczbę układów planu. Ponadto przy praktycznym realizowaniu planu pojawiają się trudności związane z tym, że określone optymalne wartości $h_u(f_u)$ przy realizacji są zastępowane liczbami całkowitymi, co w praktyce znacznie osłabia podstawowe założenia kryterium optymalności. Poniżej przedstawiono przykład planu optymalnego

-
- ✓ Pojęcie plan ciągły wprowadzono w rozważaniach teoretycznych dla ułatwienia opisu matematycznego. Wprowadza się tutaj pojęcie liczby powtórzeń dla każdego z m różnych układów planu h_u /zachodzi przy tym zależność $\sum_{u=1}^m h_u = m$ /, oraz pojęcie częstości f_u . Plan ciągły to zbiór planów tworzony dla różnych zmiennych częstości $f_u: f_u = \frac{h_u}{m}$ odpowiadających m różnym układom wartości wejściowych, przy czym wartości częstości zmieniają się w przedziale: $0 < f_u < 1$. Ustalając dowolny zbiór częstości $\{f_u: u=1, \dots, m\} = \{f_u\}$ uzyskuje się z planu ciągłego wybrany plan dyskretny.
- ✓ Ponadto znane są inne niż podane kryteria planów optymalnych:
- kryterium optymalności G minimalizujące największą wariancję prognozowanej aproksymującej funkcji,
 - kryterium optymalności E polegające na minimalizacji największej osi elipsoidy koncentracji rozkładu ocen współczynników,
 - kryterium optymalności A polegające na minimalizacji średniej wariancji współczynników.

TABELA III.4.1.3.3

u	\hat{x}_k		f _u	h _u	~h _u
	\hat{x}_1	\hat{x}_2			
1	-1	-1	0.14708	1.32372	1
2	+1	-1	0.14708	1.32372	1
3	-1	+1	0.14708	1.32372	1
2 ⁱ =4	+1	+1	0.14708	1.32372	1
5	-1	0	0.08015	0.72135	1
6	+1	0	0.08015	0.72135	1
7	0	-1	0.08015	0.72135	1
8	0	+1	0.08015	0.72135	1
9	0	0	0.0962	0.8658	1
		Σ	~1	~9	9

Nastąpienie wartości h_u ich przybliżeniami $\sim h_u$ doprowadza w przypadku do powstania planu ortogonalnego.

W tworzeniu planów optymalnych wykorzystywane są dwa pozornie przeciwne elementy: z jednej strony wprowadza się elementy heurystyczne-intuicyjne, a z drugiej stosuje się maszyny cyfrowe. Wyraża się to tym, że tworząc plan ciągły wykorzystuje się określone algorytmy, w które włączone są indywidualne, arbitralne decyzje spełniające pewne założenia planu, które następnie podlegają formalnej analizie matematycznej. Najczęściej zagadnienie sprowadza się do znalezienia w pewnych wybranych przedziałach wartości /unormowanych/ wielkości wejściowych /hipersześcian, hiperkula/ i dla pewnej postaci wielomianów aproksymujących, takich układów, które mogą być realizowane bez naruszenia kryterium optymalności.

Należy zaznaczyć, że plany optymalne po pierwszej fali szczególnego zainteresowania nowymi koncepcjami optymalności, nie są zbyt często stosowane przede wszystkim ze względu na jednostronne naciskanie na dokładność wielomianu aproksymującego, opłacaną znaczącym obniżeniem efektywności wynikającym ze zwiększenia układów planowania. Znaczne trudności przy wykorzystywaniu planów optymalnych wiąże się z faktem, że wyznaczone optymalne wartości h_u trzeba zastąpić ich całkowitoliczbowymi przybliżeniami $\sim h_u$ przez co plany tracą swą cechę optymalności.

Trudności związane ze stosowaniem planów optymalnych, a zwłaszcza ich zbyt mała efektywność, doprowadziły do poszukiwania rozwiązań kompromisowych. Utworzono plany zbliżone do optymalnych /quasi-optymalne D/, które spełniały kryterium optymalności D częściowo,

zw zamian za to charakteryzowały się szczególnie dobrą efektyw-
 ścią. Plany te sklasyfikowano umownie w tzw. grupie planów poli-
 cyjnych specjalnych. Są wśród nich m.in. plany Hartleya, plany
 B_1 , plany Pesocinińskiego i Boxa-Benkena. Na szczególną uwagę
 zługują plany nasycone. Plany takie cechuje szczególnie mała
 ła układów, równa liczbie współczynników wielomianu aproksy-
 tego drugiego stopnia.

wnocześnie plany te mogą dobrze spełniać ważne kryterium quasi-
 alności D. Stosuje się je wówczas, gdy warunki badań doświad-
 ych zmuszają do bezwzględnego ograniczenia liczby układów pla-
 ówiadczenia. W grupie planów nasyconych występuje szereg pla-
 szczególnych. Najbardziej rozpowszechnione są: plany Rechtschaff-
 i Boxa-Drapera. Oba rodzaje planów składają się z czterech I,
 II, IV/ grup układów. W planie Rechtschaffnera wykorzystuje się
 unormowane wartości wielkości wejściowych $\hat{x}_k = 0, +1, -1$ natomiast
 anie Boxa-Drapera cztery wartości $\hat{x}_k = \lambda, \mu, +1, -1$, zwraca tu uwagę
 wartości $\hat{x}_k = 0$ oraz różne dla różnych ilości wielkości wejś-
 ych wartości μ, λ ($|\mu| < 1, |\lambda| < 1$). Poniżej przedstawiono dla zobrazo-
 a układy obu planów dla trzech wielkości wejściowych.

TABELA III.4.1.3.4

Plan Rechtschaffnera

U	zbiór układowy	\hat{x}_1	\hat{x}_2	\hat{x}_3
1	I	-1	-1	-1
2		-1	+1	+1
3	II	+1	-1	+1
4		+1	+1	-1
5		-1	-1	+1
6	III	-1	+1	-1
7		+1	-1	-1
8		+1	0	0
9	IV	0	+1	0
10		0	0	+1
$n = N_b = 10$				

TABELA III.4.1.3.5

Plan Boxa-Drapera

U	zbiór układowy	\hat{x}_1	\hat{x}_2	\hat{x}_3
1	I	-1	-1	-1
2		+1	-1	-1
3	II	-1	+1	-1
4		-1	-1	+1
5		λ	λ	-1
6	III	λ	-1	λ
7		-1	λ	λ
8		μ	+1	+1
9	IV	+1	μ	+1
10		+1	+1	μ
$\lambda = 0,1925 \quad \mu = 0,2912$				

Zwrócić należy uwagę na fakt, że ponieważ są to plany opracowane do powszechnego stosowania kalkulatorów i komputerów/1974r./, w ich opracowywaniu wzięto pod uwagę przede wszystkim cechy jakościowe jak: informatywność /kryterium quasi-optimalności D/ i efektywność /maksymalne zredukowanie liczby układów, a tym samym pomiarów - pomiarów wymaganych do zrealizowania planu doświadczenia/, całkowicie natomiast pominięto aspekty techniki obliczeń optymalizacyjnych jako nieistotne w przypadku stosowania kalkulatorów i komputerów. Kolejną grupę planów poliselekcyjnych specjalnych naszą uwagi stanowią plany sympleksowe a wśród nich szczególnie plany sympleksowe integralne. Cechą szczególną tych planów są m.in. następujące zależności między wielkościami wejściowymi unormowanymi:

$$\sum_{k=1}^i \hat{x}_k = 1 \quad k=1, \dots, i \quad \hat{x}_k \geq 0$$

Wielkości \hat{x}_k mogą pełnić rolę np. składników-elementów^{x/}, przy czym:

- wszystkie składniki powinny łącznie stanowić całość /100%

1/;

- każdy ze składników musi być z natury rzeczy albo dodatni ($\hat{x}_k > 0$) albo w ogóle nie występować ($\hat{x}_k = 0$).

Każdy plan tworzy się w następujący sposób: wartości poszczególnych wielkości wejściowych umieszcza się na bokach sympleksu i w ten sposób każdy punkt sympleksu utożsamia się z wartościami wielkości wejściowych. Boki sympleksu dzieli się punktami na odcinki. W zależności od sposobu podziału istnieją różne warianty planów sympleksowych. Układy planu określone są przez punkty leżące na sympleksie. Przykład planu sympleksowego dla przypadku czterech wielkości wejściowych /I=4/ przyjmujących po trzy wartości (S=3) przedstawia schemat /rys. III.4.1.3.1/.

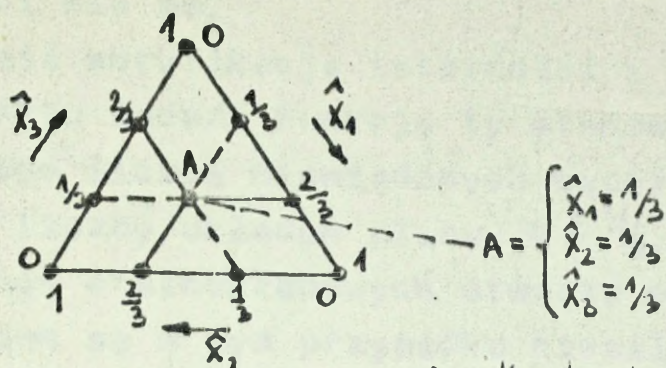
W literaturze /np. podrozdz. 4-6 /61// podane są szczegółowe zadania dotyczące możliwości wyboru wielomianu aproksymującego, sposobu aproksymacji wyników pomiarów przyjętym wielomianem, sposobu umowienia wielkości wejściowych i sposobu rozmieszczania układów planu na sympleksie.

Szczególnym przypadkiem planów poliselekcyjnych są plany stałociładowe. Stosuje się je w sytuacji niejako wymuszonej warunkami politycznymi wówczas, gdy nie ma możliwości swobodnego doboru wartości

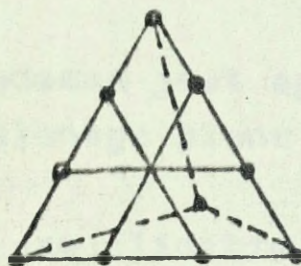
Np. mogą charakteryzować procent udziału środków w zadaniu bojowym, wyrażany w procentach rozkład ŚNP wg. wysokości lotu itp.

u	\hat{x}_1	\hat{x}_2	\hat{x}_3	\hat{x}_4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0
6	$\frac{2}{3}$	0	$\frac{1}{3}$	0
7	$\frac{2}{3}$	0	0	$\frac{1}{3}$
8	0	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	0
9	0	$\frac{2}{3}$	0	$\frac{1}{3}$
10	0	0	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$
11	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	0
12	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	0
13	$\frac{1}{3}$	0	0	$\frac{2}{3}$
14	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
15	0	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$
16	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$
17	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0
18	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{1}{3}$
19	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
20	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$

Plan sympleksowy
integralny $i=4, s=3$



Sympleks na płaszczyźnie dla brzech wielkości wejściowych



Układ planu na sympleksie dla $i=4, s=3$ (schemat)

Rys. III.4.1.3.1.

czególnych wielkości wejściowych bo są one nierozłącznie związane z konkretnymi obiektami doświadczeń^{x/}. Można jedynie zmieniać ten, wynikający z cech obiektu badań, zbiór wartości wszystkich wielkości wejściowych, czyli można zmieniać pewne stałe układy planu. W tej sytuacji plan to zbiór wszystkich stałych układów, które stosowanie jest możliwe ze względu na cechy obiektu badań, a czasem pożądane ze względu na cel podjętych badań. Kryterium realizowalności jest spełnione; wynika to z samej zasady tworzenia planu. Kryterium informatywności sprowadza się do tego, że istnieje możliwość utworzenia funkcji obiektu badań. Nie można ocenić

Sytuacja taka występuje np. podczas badań prowadzonych na realnym systemie, gdy wprowadza się obiekty określonych zestawów zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Parametry charakteryzujące system /proces kierowania/ przyjmują nowe wartości niejako "kompletami" tj. stałymi układami wartości.

ch cech jak: rotalność, optymalność D itp., lecz "na bezrybiu
nk ryba" - innych możliwości nie ma.

Można natomiast przeprowadzić weryfikację istotności i adekwat-
ci wyznaczonej funkcji obiektu badań. Funkcję tę stanowi zwykle
omian aproksymujący, którego liczba niewiadomych współczynników
nie powinna być większa od liczby układów planu: $n \geq N_b$. Należy
naczyć, że w przypadku planów stałoukładowych otwarta pozostaje
otia, czy wielkości wejściowe są w tym przypadku niezależne i
lka stąd wątpliwość dotycząca pożytku z aproksymacyjnej funkcji
jektu w takim przypadku. Podstawowa odpowiedź przy tego typu
oliwościach brzmi - nie ma możliwości wyboru żadnego innego ple-
loświadczenia.

Przedstawionych planów doświadczeń jest sporo, przy czym nie ma
zegółowych reguł wyboru określonego planu do konkretnych proble-
badawczych.

Wniesieniu do obiektów o większej liczbie wielkości wejściowych
nieją zwykle przesłanki, że niektóre z tych wielkości mogą być
lkościami nieistotnymi. W takim przypadku celowe jest prowadze-
e badań dla weryfikacji istotności wielkości wejściowych jako
stawy do ewentualnej eliminacji tych wielkości, których wpływ
wielkość wyjściową może być uznany za nieistotny. Do tego celu
żą tzw. plany randomizowane.

4.1.4. Plany randomizowane

Do powstania planów randomizowanych doprowadziła zasadnicza wąt-
wość polegająca na podważaniu prawidłowości, w sensie zgodności
rzeczywistym obiektem badań, założeń określających liczbę i ro-
j wielkości wejściowych objętych wstępnie określonym jakościowym
elem obiektu badań.

Nie można wykluczyć, że w założeniach popełniono błąd mogący po-
ać na tym, że w obiekcie badań:

- występują dodatkowe, nie znane wielkości wejściowe X_{i11}, X_{i12}, \dots
ające istotny wpływ na wielkość wyjściową, oraz odwrotnie
 - nie wszystkie wielkości wejściowe X_1, \dots, X_i ujęte w jakościow-
y modelu obiektu badań, mają rzeczywiście istotny wpływ na wiel-
ość wyjściową, czyli nie zawsze występuje między nimi korelacja.
- Badania eksperymentalne, prowadzone w celu ustalenia samego fak-

istnienia lub nieistnienia korelacji między pewnymi wielkościami wstępnymi a wielkością wyjściową, jednak jeszcze bez określenia postaci zależności funkcyjnej, nazywa się badaniami eliminacyjnymi. W planowaniu takich badań eksperymentalnych stosuje się koncepcję randomizacji, polegającą na tworzeniu układów planu z wykorzystaniem przypadku. Plany których układy wartości wielkości wejściowych zostały określone w sposób mniej lub bardziej losowy, nazywa się planami randomizowanymi.

Koncepcję randomizacji można poglądowo przedstawić na następującym przykładzie:

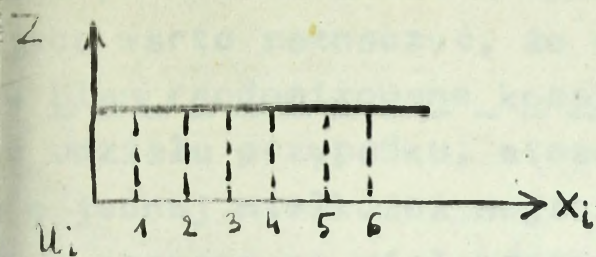
Załóżmy, że w badanym obiekcie wielkość X_1 nie ma istotnego wpływu na wielkość wyjściową, istnieje natomiast nieznaną wielkość X_{i+1} która wpływa w sposób istotny, a wpływ ten jest z kolei uzależniony od kolejności realizacji układów planu /patrz rysunek III.4.1.4.1/. Przykładem praktycznym może tu być postępujący w miarę upływu czasu t proces zużywania rewersów obiektu, mający wpływ na wielkość wyjściową. Realizując badania na podstawie klasycznego zdecydowanego planu wyznaczy się funkcję, w której występuje istotny wpływ X_1 na wielkość wyjściową, oczywiście z niedokładnością $\pm \Delta Z_p$. W rzeczywistości to oczywiście nieprawdziwe, gdyż w rzeczywistości uwzględniono tylko omyłkowy wpływ nieznannej wartości X_{i+1} . Można jednak przyjąć tę koncepcję i przyjąć przypadkowy /randomizowany, losowy/ porządek kolejności realizacji układów planu. Realizując eksperymenty powiadające układowi planu doświadczenia w przypadkowej kolejności można otrzymać zdecydowanie odmienne rezultaty: zwiększoną wartość niedokładności $\pm \Delta Z_q$ oraz brak istotnego wpływu wielkości wejściowej X_1 .

Powyższe rozważania ilustruje schemat na rys. III.4.1.4.1.

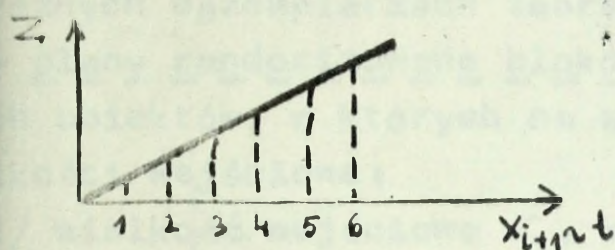
W ogólnym przypadku eliminacja nieistotnych wielkości wejściowych funkcji obiektu badań może nastąpić w dwojaki sposób:

a/ stosuje się wybrany plan poliselekcyjny i po zrealizowaniu eksperymentów w wyniku analizy statystycznej istotności, przeprowadzonej zwykle za pomocą testu t Studenta, eliminuje się nieistotne wielkości wejściowe. Sposób ten stosuje się najczęściej dla mniejszej liczby wielkości wejściowych /orientacyjnie $i \leq 5$ /, w stosunku do których brak było wstępnych przesłanek o możliwości ich istotnego wpływu;

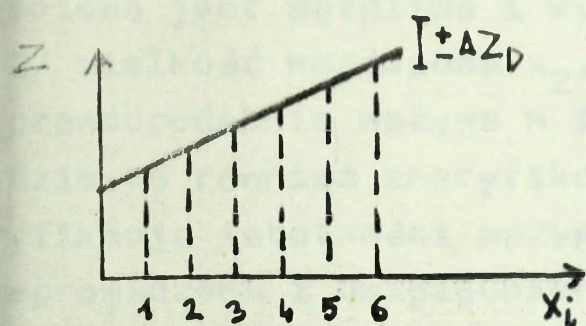
b/ całość badań dzieli się na badania eliminacyjne /weryfikacja



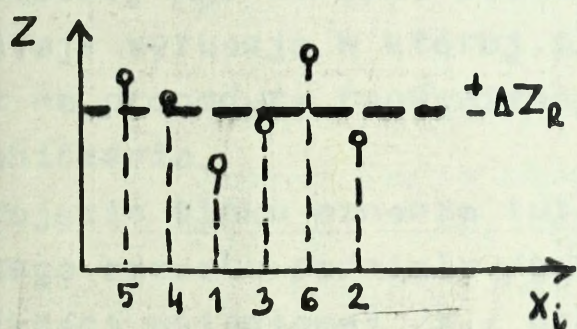
Rzeczywisty wpływ (brak wpływu)
wielkości x_i na wielkość wyjściową Z



Wpływ x_{i+1} na wielkość wyjściową Z



Wyniki badań wg klasycznego
planu zdeterminowanego



Wyniki badań wg planu randomizowanego

Rys. III.4.1.4.1.

placji/ oraz badania właściwe. Badania eliminacyjne przeprowadza się za pomocą planów randomizowanych i w rezultacie analizy statystycznej wyników pomiarów eliminuje się nieistotne wielkości efektywne. Funkcję obiektu badań wyznacza się następnie z badań właściwych realizowanych za pomocą wybranego innego planu np. polifaktoryjnego. Sposób ten stosuje się najczęściej dla obiektów o większej liczbie wielkości wejściowych /orientacyjnie $i > 5$ / oraz wypowodzenia uzasadnionych przesłanek sugerujących nieistotność pewnych wielkości.

Szczególny związane z tworzeniem i wykorzystywaniem planów rando-

owanych można znaleźć w literaturze /np. rozdział 6 /61//. W tym miejscu warto zaznaczyć, że najpopularniejsze są:

- plany randomizowane kompletne - tworzone z pełnym uwzględnieniem udziału przypadku, stosowane szczególnie w przypadkach obiektów o jednej wielkości wejściowej i wyjściowej, wówczas gdy badania są prowadzone wielokrotnie, w nie zawsze jednakowych warunkach, różnych egzemplarzach teoretycznie identycznych obiektów.

- plany randomizowane blokowe - stosowane szczególnie w badaniach obiektów, w których na wielkość wyjściową mają wpływ dwie wielkości wejściowe:

1/ wielkość wejściowa x_1 , której istotność wpływu na wielkość wyjściową jest wątpliwa i wymaga weryfikacji doświadczalnej,
2/ wielkość wejściowa x_2 , w stosunku do której przyjmuje się, prawdopodobnie wpływa w istotny sposób na wielkość wyjściową gdzie to również zweryfikowane doświadczalnie/, a jednocześnie weryfikacja istotności wpływu wielkości wejściowej x_1 powinna być przeprowadzona z uwzględnieniem możliwych oddziaływań wielkości wejściowej x_2 . Wstępne założenie istotności wpływu x_2 powoduje, że wystaje sytuacja w której plan nie jest w pełni randomizowany, lecz na procedurę randomizacji nakłada się pewne zdeterminowane ograniczenia.

Pojęcie bloku oznacza tutaj wprowadzenie do planu doświadczenia pewnego sposobu podziału /grupowania/ układów wartości określonej wielkości wejściowej x_1 oraz tzw. jednostek doświadczalnych, a w sekwencji wyników pomiarów wielkości wyjściowej. Każdemu blokowi odpowiada ta sama wartość lub ta sama cecha jakościowa wielkości wejściowej x_2 , uznana wstępnie za wielkość wpływającą w sposób istotny na wielkość wyjściową.

- plany randomizowane kwadratowe - stosuje się je w przypadku gdy liczba wielkości wejściowych $i \geq 3$, szczególnie wówczas, gdy $i = 3-5$. Nazwa planów pochodzi od tego, że są one oparte o tzw. kwadraty łacińskie^{x/}. Plan kwadratu łacińskiego powstaje w wyniku dołożenia wartości pewnej wielkości wejściowej, odpowiadających

Poglądowo kwadrat łaciński można określić jako tablicę kwadratową utworzoną z n elementów, oznaczonych literami łacińskimi A, B, C /stąd nazwa kwadrat łaciński/, w taki sposób że w każdym wierszu i każdej kolumnie występują wszystkie jego elementy, a jednocześnie każdy element występuje tylko jeden raz, np.:

ABC	BCA	CAB
BCA	CAB	ABC
CAB,	ABC,	BCA, ...

planem kwadratowi łacińskiemu na układy planu kompletnego dla stałych wielkości wejściowych. Procedurę randomizacji uważa się w ten sposób, że kwadrat łaciński stanowiący podstawę utworzenia planu jest wybierany w sposób losowy.

• plany bilansu losowego - stosuje się w badaniach złożonych obiektów, w sytuacji, gdy liczba wielkości wejściowych jest stosunkowo duża /np.: $i=5 \div 12$ /, co praktycznie bardzo utrudnia stosowanie planów poliselekcyjnych ze względu na znaczną liczbę wymaganych pomiarów. Układy planu tworzy się w sposób losowy zwykle na podstawie losowanego planu frakcyjnego dwuwartościowego. Po zrealizowaniu pomiarów otrzymane wyniki podlegają specjalnej analizie statystycznej. Analiza ta łączy elementy formalnej weryfikacji istotności elementami indywidualnych decyzji, subiektywnie oceniających istotność wpływu wielkości wejściowych na podstawie tzw. diagramów rzutu. Ostatecznym rezultatem analizy wyników pomiarów jest diagram istotności wpływu wielkości wejściowych, który przy założonej wartości poziomu istotności α^* umożliwia ewentualną eliminację tych wielkości, które uznaje się za nieistotne.

4.1.5. Analiza wyników badań eksperymentalnych

Analiza wyników badań eksperymentalnych ma dla określenia funkcji obiektu szczególnie ważną rolę - określa ostateczny rezultat badań. Analiza wyników obejmuje dwa powiązane ze sobą odrębne zagadnienia: analizę statystyczną, analizę merytoryczną.

Analiza statystyczna dotyczy nie tylko treści, lecz przede wszystkim formy wyników eksperymentów. Zakresem analizy statystycznej są zagadnienia aproksymacji, korelacji statystycznych /oceny istotności/ i niedokładności rezultatów eksperymentów oraz adekwatności^{x/} funkcji obiektu badań.

Analiza merytoryczna natomiast, to analiza logiczna podstawowych zjawisk związanych z badanym obiektem. Ponieważ analiza merytoryczna związana z konkretnymi badaniami przeprowadzona będzie w rozdz. 5, w tym miejscu omawia się jedynie najistotniejsze aspekty analizy statystycznej.

Należy zwrócić uwagę, że w tym przypadku chodzi o adekwatność funkcji aproksymującej w stosunku do wyników eksperymentów, nie zaś o omawianą w innym miejscu /podrozdz. III.3/ adekwatność modelu w odniesieniu do systemu rzeczywistego.

Podstawowym zagadnieniem wchodzącym w zakres analizy statystycznej jest aproksymacja funkcji obiektu badań.

Należy zwrócić uwagę, że o ile ogólnym celem badań jest weryfikacja i lepsze poznanie badanego systemu i jego modelu, to celem analizy statystycznej jest wyznaczenie funkcji obiektu badań w postaci zależności, "wyjścia" od "wejścia" $z = F(X)$. Od modelu żądamy pełnej logicznej adekwatności do rzeczywistego systemu, natomiast od funkcji obiektu badań jedynie ograniczonej adekwatności nadanym obszarze - do wyników pomiarów /obserwacji/.

W ogólnym zagadnieniu aproksymacji można wyróżnić dwa zagadnienia szczególne:

- wybór funkcji mającej stanowić funkcję obiektu badań,
- wybór metody aproksymacji wyników eksperymentów za pomocą wybranej funkcji.

Wybór funkcji spośród wielu możliwych dokonywany jest w drodze promisu uwzględniającego:

- zalecenia wynikające z analizy teoretycznej zjawisk występujących w badanym systemie;
- dążenie do zgodności /adekwatności/ z wynikami eksperymentów;
- dążenie do wygodnego i praktycznego sposobu wykorzystania wybranej funkcji;
- oraz dążenie do uproszczenia technologii aproksymacji.

W tej sytuacji wybór nie jest łatwy, gdyż postać funkcji na ogół nie wynika z przebiegu zależności stwierdzonej doświadczalnie. Te same dane w ograniczonym obszarze zmienności wielkości wejściowych, mogą być często poprawnie aproksymowane zdecydowanie różnymi funkcjami.

W praktyce badań doświadczalnych w ogólnym przypadku obiektu wielowarstwowego stosuje się najczęściej wielomiany stanowiące modyfikacje ogólnej postaci następującego wielomianu:

$$\begin{aligned} Z = & b_0 + b_{11} \cdot x_1 + b_{22} \cdot x_2 + \dots + b_{ii} \cdot x_i + b_{111} \cdot x_1^2 + \dots + b_{iii} \cdot x_i^2 + \\ & + b_{111\dots} \cdot x_1^s + \dots + b_{iii\dots} \cdot x_i^s + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \dots + b_{i-1,i} \cdot x_{i-1} \cdot x_i + \\ & + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{124} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 + \dots \end{aligned}$$

Modyfikacje takie polegają na ograniczeniu stopnia wielomianu przy czym najczęściej stosuje się wielomiany pierwszego i drugiego stopnia tj. liniowe i "kwadratowe"/ oraz ewentualnym odrzuceniu niektórych iloczynów $x_i \cdot x_j \cdot x_k \dots$ stanowiącymi tzw. współdziałania steracyjne/.

Wybór szczególnej postaci wielomianu dokonuje się w drodze kompromisu uwzględniającego:

- nieliniowość rzeczywistych obiektów, a tym samym powinno się dążyć do zwiększenia stopnia wielomianu;
- efektywność planów eksperymentów, a tym samym powinno się dążyć do zmniejszenia stopnia wielomianu, co jest równoznaczne z ograniczeniem liczby pomiarów wymaganej do jego realizacji.

W praktyce w poszczególnych planach eksperymentów najczęściej stosuje się następujące zmodyfikowane postaci wielomianu ogólnego:

TABELA III.4.1.5.1

Postać wielomianu aproksymującego funkcję obiektu	Plany w których stosuje się daną postać wielomianu	Zalecane testy weryfikujące	
		istotność	adekwatność
$z = b_0 + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_i \cdot x_i + b_{11} \cdot x_1^2 + \dots + b_{ii} \cdot x_i^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \dots + b_{i-1,i} \cdot x_{i-1} \cdot x_i$	Plany poliselekcyjne	t	F
$z = b_0 + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_i \cdot x_i$	Plany kompletne	t	F
$z = B_0 + B_1 \cdot x_1 + \dots + B_i \cdot x_i$ $x_k = \varphi_k(x_k)$ $x_k = \varphi_k(b_k)$	Plany poliselekcyjne, frakcyjne, dwuwartościowe	/R, r/	
	Plany poliselekcyjne specjalne	?	F
$z = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + \dots + b_5 \cdot x^5$	Plany kompletne	t	F
	Plany monoselekcyjne		
	Plany optymalne typu D na odcinku		

Wybór funkcji obiektu badań to dopiero pierwszy etap aproksyma-

3. Następnie należy przeprowadzić analityczne jej określenie w warze dopuszczalnym, polegające na wyznaczeniu stałych, w tym wypadku współczynników $b_0, b_1, \dots, b_i, b_{k1}, \dots, b_{kk}$ itp. Należy wybrać metodę aproksymacji czyli sposób zastąpienia z określoną dokładnością brzo wartości wielkości wejściowej $\{Z\}$ pewną funkcją

$$\hat{Z} = \hat{F}(x) \approx Z = F(x)$$

ę z różnych i uzasadnionych względów uznaje się za właściwą.

W praktyce stosuje się najczęściej dwie metody:

- aproksymację metodą najmniejszych kwadratów;
- aproksymację metodą interpolacji.

Model /i badany system/ ma charakter probabilistyczny, ale przyjmuje się, że stosowane będą metody aproksymacji takie same jak w odniesieniu do modeli deterministycznych, przy założeniu, że model probabilistyczny może być dla celów aproksymacji utożsamiany z modelem deterministycznym, na skutek przyjęcia wartości średnich wielkości wyjściowej jako wielkości zdeterminowanych.

Aproksymację metodą najmniejszych kwadratów wykorzystuje się w przypadkach stosowania wielomianów pierwszego oraz drugiego stopnia. W przypadku wielomianów wyższych stopni lub innych bardziej złożonych postaci funkcji występują trudności, przede wszystkim w ocenie dokładności aproksymacji, jak również w technice rachunkowej.

Aproksymacja metodą interpolacji polega na wyznaczaniu takiej funkcji $F(x)$, która dla określonych wartości wielkości wejściowej wybiera wartości równe otrzymanym w eksperymentach wartościom wielkości wyjściowej. Pozornie jest to rezultat frapujący, nie jest jednakże wiele zastrzeżeń, z których podstawowe polega na tym, że aproksymacja interpolacyjna zwiększa stopień wielomianu, a tym samym - poza jego zbyt dużą komplikacją - wprowadza zwykle większe "wahania" krzywej \hat{Z} w przedziałach między wartościami wielkości wejściowych, uwzględnianymi w eksperymentach. W badaniach eksperymentalnych występują, nie pojedyncze wartości wielkości wyjściowych, lecz zbiory pomiarów. Skoro dowolna wartość wielkości wyjściowej określana jest i tak z pewną niedokładnością, nie jest całkowite komplikowanie funkcji obiektu jedynie po to, aby przechodziła dokładnie przez średnie arytmetyczne. Zastosowanie aproksymacji interpolacyjnej ma największe znaczenie wówczas, gdy można wybierać wartości wielkości wejściowej z pewnego przedziału (X_{\min}, X_{\max}) .

tości X dobiera się wtedy tak, aby zminimalizować maksymalny błąd aproksymacji - zwykle na podstawie pierwiastków tzw. wielomianu Czebyszewa.

Szczegółowe wzory stosowane do aproksymacji funkcji $Y = F(x)$ można znaleźć w materiałach źródłowych /33/, /49/, w szczególności 61/ przy opisie poszczególnych planów eksperymentów.

Oprócz aproksymacji ważkim zagadnieniem związanym z analizą statystyczną wyników badań jest ocena niedokładności rezultatów uzyskanych w poszczególnych eksperymentach. Klasycznym pojęciem obowiązującym w metrologii jest pojęcie błędu pomiaru, czyli niezgodności wyniku pomiaru z wartością wielkości mierzonej. Bezpośrednio z tym związana jest ocena przyczyn powstawania i klasyfikacja błędów na: systematyczne, przypadkowe i ewentualnie błędy nadmierne /grube/. W przypadku badań prowadzonych na modelu probabilistycznym /lub w systemie rzeczywistym, który też ma charakter probabilistyczny/ występują zupełnie inne "błędy". Podstawową przyczyną rozrzutu pojedynczych wyników eksperymentów jest zmiana samej wielkości mierzonej. Mówi się więc nie tylko o "błędzie" pomiaru, lecz o zmianie wyników pomiarów. Określenie niedokładności pomiarów polega na ilościowej ocenie tych zmian $\pm C$.

Dysponując określonym zbiorem wartości wielkości wyjściowej stosuje się do oceny niedokładności następujące pojęcia:

- miarę położenia /tendencji centralnej/ charakteryzującą pewną wartość "najważniejszą", wokół której skupiają się inne wartości;
- miarę zmienności określającą "rozrzut" tych wartości w okolicy położenia.

Miara położenia określana jest najczęściej za pomocą średniej arytmetycznej z próbki

$$\bar{z} = \frac{1}{r} \cdot \sum_{j=1}^r z_j$$

gdzie: r - jest liczbą powtórzeń eksperymentów

Miary zmienności określane są za pomocą różnych wielkości, przy czym wielkością podstawową jest wariancja wyznaczana na podstawie wzoru:

$$s^2(z) = S^2(z) = \frac{1}{r} \cdot \sum_{j=1}^r (z_j - \bar{z})^2$$

Najlepszym oszacowaniem wariancji jest oszacowanie oparte o tzw. odchylenie standardowe skorygowane:

$$S = S(z) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^r (z_j - \bar{z})^2}{r-1}}$$

w badaniach jako miarę zmienności stosuje się także tzw. rozstęp wyznaczany w oparciu o wzór

$$R = R(Z) = Z_{\max} - Z_{\min}$$

Niezależnie od powyższych miar prawidłowa ocena niedokładności wymaga uwzględnienia rozkładu prawdopodobieństwa wartości wielkości wejściowej. Stosuje się tutaj rozkład normalny oraz rozkład t Studenta do analizy niedokładności pomiarów, natomiast do analizy korelacji statystycznej /oceny istotności/ wykorzystuje się rozkład Studenta i rozkład F Snedecora, a do oceny adekwatności funkcji maksymalnej rozkład F Snedecora i rozkład χ^2 . Problem oceny dokładności rezultatów przedstawiono szerzej w odrębnym podrozdziale poświęconym ocenie wiarygodności wyników /podrozdział III.3/. Ostatnim z podstawowych zagadnień statystycznej analizy wyników jest ocena korelacji statystycznych.

Podczas badań eksperymentalnych, na wstępnym etapie badań powinno się uwzględniać możliwie dużą liczbę wielkości charakteryzujących dany system. Zgodnie z teorią nie należy więc od początku nadmier- ograniczać liczby wielkości wejściowych z obawy przed nadmier- rozbudowywaniem planów badań eksperymentalnych, należy natomiast sować odpowiednie plany i metody analizy statystycznej zapewnia- e ich efektywną eliminację. Postępowanie takie jest rozsądne m.in. tego, że eliminacja wielkości nieistotnych jest stosunkowo łatwa, natomiast postępowanie odwrotne tj. "uzupełnienie" wielkościami które nie zostały uwzględnione w początkowym etapie tworzenia modelu jest bardzo trudne.

Przyjmując rozsądną zasadę "nadmiarowości" wielkości wejściowych proponuje się ich wstępnego podziału na:

- wielkości określone jako zdecydowanie istotne;
 - wielkości, które mogą być istotne lub nieistotne.
- Nieważ w trakcie badań, występuje rozrzut pojedynczych wyników trzeba zatem wykazać, czy zmiany wartości wielkości wyjściowej są sekwencją:
- celowej zmiany wartości wielkości wejściowych, czy też
 - przypadkowej zmiany wynikającej z probabilistycznego charakteru procesu.

Zależność między wielkościami wejściowymi a wyjściową określaną miarą korelacji analizuje się metodami statystyki matematycznej.

Trzeba tutaj wyraźnie zaznaczyć, że stwierdzenie dowolnej korela-

tatystycznej może być sugestią do pojęcia analiz uzasadniająco-logicznie merytoryczne współzależności przyczynowo-skutkowe, liczym więcej. Szczególnie ilościowa miara korelacji statystycznej nie stanowi odpowiednika ilościowej miary związku merytorycznego.

osowane metody aproksymacji umożliwiają wyznaczenie funkcji celu, w której skład wchodzi wszystkie wielkości wejściowe łączone składnikami liniowymi $b_k \cdot X_k$, nieliniowymi $b_{kk} \cdot X_k^2$ i współzależnościami $b_{qk} \cdot X_q \cdot X_k$. Nie oznacza to jednak, że wszystkie składniki muszą pozostać w ostatecznej postaci funkcji obiektu, gdyż nie wszystkie z nich mogą wpływać tak nieznacznie na wartość wielkości wyjściowej Z , że wobec istniejących niedokładności można je wyeliminować. To jest m.in. celem weryfikacji istotności, stosuje się tutaj metody analizy wariancji a w szczególności test Studenta. Test F określa się w postaci następującej statystyki obliczanej doświadczalnym ilorazem wariancji F.

$$F = \frac{S^2(z)_2}{S^2(z)_1}$$

gdzie:

$$S^2(z)_1 = \frac{SQ_1}{f_1} = \frac{\sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^{r_u} (z_j^u - \bar{z}^u)^2}{\sum_{u=1}^n (r_u - 1)} = \frac{\sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^{r_u} (z_j^u - \bar{z}^u)^2}{N - n}$$

$$S^2(z)_2 = \frac{SQ_2}{f_2} = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{z}^u - \bar{z})^2}{n - 1}$$

$$\bar{z} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^{r_u} z_j^u \quad f_1 = \sum_{u=1}^n (r_u - 1) = N - n$$

$$\bar{z}^u = \frac{1}{r_u} \cdot \sum_{j=1}^{r_u} z_j^u \quad f_2 = n - 1$$

u - numer układu planu u = 1, 2, ..., n

j - numer eksperymentu w u-tym układzie j = 1, 2, ..., r_u

Historycznym niemal przykładem jest stwierdzona przez jednego ze statystyków, korelacja statystyczna między liczbą bocianów w wioskach angielskich a liczbą noworodków.

Weryfikację istotności przeprowadza się w sposób alternatywny. W ten sposób polega na porównaniu wartości ilorazu F z jego wartością krytyczną F_{α} wyznaczoną z tablic statystycznych dla przyjętego poziomu istotności α (np. 0,01, 0,05, 0,1) oraz stopni swobody f_2 i f_1 . Wynik wielkości wejściowej uznaje się za:

- istotny, jeśli $F \geq F_{\alpha}$
- nieistotny, jeśli $F < F_{\alpha}$

Wyższy sposób jest stosowany powszechnie.

Inny sposób polega na wyznaczaniu poziomu istotności $\alpha^* = \alpha(F)$ określonego dla uprzednio wyznaczonych F, f_2, f_1 i przyjmowaniu stwierdzenia, że uzyskuje się istotność dla każdej wartości poziomu istotności nie mniejszej niż

$$\alpha \geq \alpha^* = \alpha(F)$$

W podobny sposób w teście t Studenta wykorzystuje się statystykę wyznaczaną oddzielnie dla każdego współczynnika wielomianu aproksymującego

$$t = t(b) = \frac{|b|}{S(b)}$$

gdzie: $S(b)$ - odchylenie standardowe współczynników wyznaczone na podstawie wzorów uwzględniających charakterystykę planu doświadczenia, przy czym we wzorach tych występuje wariancja $S^2(z)$.

Podczas analizy korelacji statystycznej dokonuje się nie tylko weryfikację istotności poszczególnych wielkości wejściowych ale i weryfikację adekwatności wyznaczonej uprzednio funkcji obiektu /wielomianu aproksymującego/. Do weryfikacji adekwatności funkcji aproksymującej wykorzystuje się przedstawione już wyżej testy F i t Studenta. Różnice polegają na sposobie wyznaczenia odpowiednich statystyk i tak np. wartość statystyki F wyznacza się w takim przypadku z następującego ilorazu wariancji

$$F = \frac{S^2(z)_a}{S^2(z)}$$

gdzie: $S^2(z)_a$ - tzw. wariancja adekwatności, charakteryzująca niedokładność aproksymacji

$$S^2(z)_a = \frac{SQ_2}{f_2} = \frac{\sum_{u=1}^m r_u \cdot (\bar{z} - z_u)^2}{n - N_b}$$

y czym N_b - liczba współczynników wielomianu aproksymującego;
 \bar{z}^u - aproksymowana wartość wielkości wyjściowej Z obliczona z funkcji obiektu /wielomianu aproksymującego/

$S^2(z)$ - wariancja charakteryzująca niedokładność pomiarów

$$S^2(z) = \frac{\sum_{u=1}^m \sum_{j=1}^{\tau_u} (z_j^u - \bar{z}^u)^2}{\sum_{u=1}^m (\tau_u - 1)}$$

Na zakończenie warto jeszcze raz dobitnie zaakcentować, że brak korelacji statystycznej nie wyklucza całkowicie związku przyczynowego, który tylko w warunkach przeprowadzonych badań nie został uwidocznił np. na skutek szczególnego wpływu współdziałań między wielkościami wejściowymi. Brak korelacji tylko sugeruje możliwość braku związku przyczynowego. I odwrotnie, stwierdzenie korelacji statystycznej stanowi tylko istotną przesłankę istnienia odpowiednich związków przyczynowych. Ostateczne decyzje przy tego typu problemach mogą być podejmowane dopiero na drodze pogłębionej analizy krytycznej.

I.4.2. Plany optymalizacyjne, czyli poszukiwanie ekstremum funkcji F

Plany optymalizacyjne to sposoby organizowania i prowadzenia eksperymentów ukierunkowane na poszukiwanie ekstremum założonej funkcji kryterium K /w szczególnym przypadku może być $K \in Z$ / bezpośrednio na drodze doświadczalnej. W przypadku planów optymalizacyjnych rezygnuje się z identyfikacji funkcji F obiektu / $Z = F/x$ //
 Wśród planów optymalizacyjnych wyróżnia się dwie podstawowe grupy:

- plany sekwencyjne;
- plany ekstremalne.

Plan sekwencyjny to połączenie planu monoselekcyjnego^{x/} z zasadą sekwencyjnej realizacji badań. Zasada tworzenia planu sekwencyjnego jest następująca: bada się kolejno wpływ pojedynczych wielkości wejściowych przy ustalonych wartościach pozostałych wielkości, przy tym sposób ustalania tych wartości następuje sekwencyjnie i oddzielnie dla każdej wielkości wejściowej, zależnie od rezultatów analizy statystycznej poprzednich rezultatów. Wśród planów sekwencyjnych wyróżnić można dwa typy planów:

 Opis planu monoselekcyjnego przedstawiono w podrozdz. III.4.1.

- plany sekwencyjne jednokrotne;
- plany sekwencyjne wielokrotne.

Podczas realizacji planu sekwencyjnego jednokrotnego - występują następujące etapy:

0. Uporządkowanie wartości wielkości wejściowych w kolejności powiadającej oddalaniu od hipotetycznego optimum^{x/}. W tym miejscu występuje charakterystyczna dla planów optymalizacyjnych potrzeba posiadania apriorycznej informacji o obiekcie badań. Należy podkreślić, że uszeregowanie wartości wielkości wejściowych zwykle nie ma nic wspólnego z rzeczywistymi zmianami, np. zwiększeniem lub zmniejszeniem rzeczywistych wartości wielkości wejściowych.

1. Badania wpływu pierwszej /wg. ustalonego wcześniej porządku/ wielkości wejściowej X_1 na wielkość wyjściową, przy chwilowo ustalonych wartościach pozostałych wielkości wejściowych odpowiadających hipotetycznemu optimum. Określa się pojedynczą funkcję $F /X_1/$ i wyznacza się wartość optymalną X_{1opt} .

•
•
•

k. Badania wpływu k - tej wielkości wejściowej X_k na wielkość wyjściową, przy chwilowo ustalonych wartościach pozostałych wielkości wejściowych. Przy ustalaniu pozostałych wielkości wykorzystuje się wyniki uzyskane w poprzednich sekwencjach. Polega to na tym, że zbadane już wielkości X_1, \dots, X_{k-1} przyjmują wartości optymalne $X_{1opt}, \dots, X_{k-1opt}$ a inne wielkości przybierają wartości centralne $X_{k+1}^{(n)}, \dots, X_l^{(n)}$. Dla wielkości X_k wyznacza się podobnie jak w kroku 1 wartość optymalną X_{kopt} .

Sekwencję k-tą powtarza się aż do wyczerpania wszystkich wielkości wejściowych. Uzyskuje się w ten sposób pewne optimum, które nie zawsze jest rzeczywistym stanem optymalnym. Wszystko zależy tutaj od rzeczywistej postaci ogólnej funkcji F /znane są tylko pojedyncze funkcje odpowiadające jak gdyby "przekrojom"/ oraz prawdziwości następnego oszacowania przypuszczalnego optimum, na podstawie którego wyznacza się wartości centralne. Tę niekorzystną cechę planu sekwencyjnego jednokrotnego eliminuje się w planie sekwencyjnym

Układ odpowiadający hipotetycznemu optimum nazywa się układem centralnym i oznacza się go $X_1^{(n)}, X_2^{(n)}, \dots, X_k^{(n)}, \dots, X_l^{(n)}$

Wielokrotnym przez wielokrotne powtarzanie sekwencji 1 ÷ 1, zastępu-
 wartości centralne wielkości wejściowych wyznaczonymi wcześniej
 wartościami optymalnymi. Powtarzanie takie stosuje się tak długo,
 aż wartość funkcji kryterium nie przestanie się zbytnio w ko-
 nych krokach zmieniać. Ujemną stroną takiego postępowania jest
 oczywiście znaczne zwiększenie liczby układów planu.

Plany sekwencyjne nie są uważane za najlepsze z planów optymalizacyjnych. Jednakże w przypadku gdy badania mają na celu optymalizację, a z różnych względów, decyduje się o badaniu wpływu pojedynczych wielkości wejściowych, to plan sekwencyjny jest zdecydowanie lepszym wyjściem niż plan monoselekcyjny.

Drugą ważną grupę planów optymalizacyjnych stanowią plany ekstremalne. W tej grupie planów można wyróżnić:

- plany gradientowe;
- plany bezgradientowe zwane też planami ekstremalnymi specjalnymi.

Plany gradientowe oparte są o wykorzystanie tzw. gradientu funkcji, czyli wektora:

$$\vec{g} = \text{grad } z = \frac{dz}{dx_1} \cdot \vec{i} + \frac{dz}{dx_2} \cdot \vec{j} + \dots + \frac{dz}{dx_i} \cdot \vec{k}$$

Wektor \vec{g} określa w wybranym punkcie kierunek największego przyrostu funkcji. Koncepcja planów gradientowych jest następująca:

- w otoczeniu wybranego punktu A /określonego układem wartości wielkości wejściowych/ przyjmuje się wybrany plan /zwykle kompletny wartościowy/;

- zgodnie z wybranym planem prowadzi się eksperymenty i określa przybliżoną /liniową/ funkcję obiektu badań - F;

- na podstawie funkcji F wyznacza się gradient \vec{g} i następnie wzdłuż planu /zestawy wartości wielkości wejściowych/ ustala się kierunek wskazanym przez gradient.

Przy praktycznej realizacji planu gradientowego występuje wielo-
 kierunkowość działania. Sposób postępowania zależy m.in. od arbitralnego i w znacznym stopniu intuicyjnego określenia:

- wartości centralnych wskazujących przypuszczalne optimum;
- tzw. jednostek zmienności poszczególnych wielkości wejściowych

$$\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_k, \dots, \Delta X_i$$

Na początku punkt A wybiera się zgodnie z układem tzw. wartości centralnych wskazujących hipotetyczne optimum.

- sposobu wyznaczania kolejnych układów planu na kierunku wskazanym przez gradient \vec{g} .

Powyższa wielowariantowość samej procedury realizacji planu gradientowego połączona z arbitralnym wyborem "punktu startu" sprawia, że jest on w szczególnym stopniu uzależniony od indywidualnych i często intuicyjnych decyzji badacza, a to może być zaletą jak i wadą.

W grupie planów ekstremalnych bezgradientowych wyróżnić można kilka odmian szczególnych a wśród nich m.in.:

- plany eliminacyjne, które sprowadzają się do sukcesywnego eliminowania obszarów, w których nie może znajdować się ekstremum;

- plany randomizowane - polegające na losowym wyborze układu wartości wielkości wejściowych, dla których drogą eksperymentu wyznaczają się wartości wielkości wyjściowej, a następnie wybiera wartość ekstremalną;

- plany algorytmiczne - oparte na różnych algorytmach bezgradientowych.

Sposób ustalania tych planów wynika bezpośrednio z osiągnięć teorii optymalizacji. Szerszy opis różnego rodzaju metod bezgradientowych można znaleźć w monologii W. Findejsen, J. Szymanowski, A. Werzbicki "Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji" PWN 1980 oraz w pracy T. Kręglowski, T. Rogowski, A. Ruzczyński, J. Szymanowski "Metody optymalizacji w języku FORTRAN" PWN 1984.

Należy tutaj zwrócić uwagę, że ogromna większość metod obliczeniowych optymalizacji, to metody iteracyjne, polegające na konstruk-

Przyjmując, że $\vec{g} = \text{grad} z = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \end{bmatrix}$ i zapisując równanie prostej

określonej przez grad Z w postaci parametrycznej uzyskuje się

$$X_k^u = X_k^{u-1} + \lambda \cdot b_k \cdot \Delta X_k$$

gdzie: X_k^{u-1} - wartość k -tej wielkości wejściowej w punkcie A ;

λ - współczynnik "szybkości" przesuwania punktu A ;

X_k^u - wartość X_k w "nowym" punkcie A wskazanym przez gradient.

Jak widać odpowiednio dobierając wartości λ zmienia się sposób wyznaczania nowych układów planu. Istnieje kilka różnych reguł określania wartości λ .

ciągów rozwiązań dopuszczalnych, zbliżonych w określonym sensie do rozwiązania optymalnego. W większości problemów nie jest przez to ważne, aby podejmowane decyzje były bliskie decyzjom idealnym, ale aby efekty tych decyzji nie odbiegały zbyt od rezultatów idealnych.

Plany optymalizacyjne cechuje znaczna efektywność, ale biorąc pod uwagę to, że opracowano szereg innych również optymalnych planów /np. plany quasi-optymalne D^x /, można mieć wątpliwości czy warto rezygnować zupełnie z możliwości otrzymania aproksymacyjnej funkcji obiektu badań na rzecz samych wartości ekstremalnych uzyskiwanych na podstawie planów optymalizacyjnych.

Aktualnie do zalet planów optymalizacyjnych zalicza się możliwość efektywnego wyznaczenia optimum, zwłaszcza w przypadku gdy zakres zmian wartości wielkości wejściowych jest znaczny, a ponadto liczba tych wielkości jest duża. Natomiast ujemnymi cechami tych planów są:

- uwarunkowanie informatywności od pewnych informacji wstępnych w obiekcie badań /np. przybliżona ocena położenia rozwiązania optymalnego/;
- utrudnienie organizacyjno-technicznej strony badań polegające na tym, że nie można poczynić pełnych przygotowań wstępnych. Określa się jedynie kilka początkowych układów planu /"punkt startu"/, prowadzi eksperymenty i dokonuje analizy ich wyników, a następnie w zależności od otrzymanych rezultatów, ustala sukcesywnie dalsze układy realizowanego planu optymalizacyjnego.

II.5. Porównywanie eksperymentów

Podczas badań eksperymentalnych prowadzonych w oparciu o model probabilistyczny /także w realnym systemie^{xx}/ występować mogą przypadki polegające na tym, że nie ma potrzeby /lub możliwości/ wyznaczenia funkcji wyrażającej ilościowe związki między czynnikami wejściowymi a wielkościami wyjściowymi^{xxx}, ani określania ścisłych ilościowych relacji między wskaźnikami efektywności odpowiadającymi porównywanym wariantom systemu. W takich przypadkach istotne

-
- x/ Opis planów w podrozdz. III.4.1.
 - xx/ Zjawiska występujące w realnym systemie także mają w ogólnym przypadku charakter probabilistyczny.
 - xx/ Sposób wyznaczenia tzw. funkcji obiektu badań przedstawiono w podrozdziale III.4.

to jedynie porównywanie wyników związanych z alternatywnymi warunkami działania /variantami rozwiązań systemowych/.

Tego rodzaju potrzeby występują w szczególności wówczas, gdy czynniki wejściowe, których wpływ na funkcjonowanie systemu jest badany, mają charakter wyłącznie jakościowy np. są to różne algorytmy decyzyjne. Ponieważ procesy obserwowane w trakcie eksperymentów mają charakter probabilistyczny, do ich badania trzeba wykorzystywać aparat statystyki matematycznej. Z punktu widzenia statystyki, problemy związane z porównywaniem eksperymentów można podzielić na dwa rodzaje, różniące się zakresem pytań na które należy odpowiedzieć:

1/ Czy w przypadku, gdy zmienia się wartości badanego parametru, różnice między rezultatami uzyskanymi w poszczególnych eksperymentach wskazują na istotny wpływ danego parametru, czy też wynikają jedynie z losowego charakteru procesów przebiegających w systemie? Jest to tzw. porównywanie eksperymentów.

2/ Czy i jak można uporządkować warianty zestawów czynników wejściowych w kolejności odpowiadającej wartościom uzyskanych rezultatów?

Uporządkowanie polega w tym przypadku na określeniu wariantów rozwiązań, dla których z założonym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że wyniki /wskazniki efektywności/ przewyższają inne w sposób istotny ze statystycznego punktu widzenia. Jest to tzw. porządkowanie eksperymentów.

Dla rozwiązywania powyższych problemów statystycznych stosuje się specjalne reguły postępowania określane w statystyce testowaniem hipotez.

Przed testowaniem określa się tzw. poziom istotności α . Przyjęcie poziomu istotności α ($0 < \alpha < 1$) oznacza, że z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż $(1-\alpha)$ decyzja, którą podejmuje się na podstawie określonego testu powinna być prawdziwa, innymi słowy błędna decyzja nie powinna być podejmowana częściej niż w $\alpha \cdot 100\%$ przypadkach.

W przypadku 1/, czyli podczas porównywania eksperymentów przyjmuje się pewne założenia dotyczące charakteru rozkładu złożonej zmiennej losowej $\bar{Z}_i - \bar{Z}_j$ /gdzie \bar{Z}_j - średnia wartość wielkości wyjściowej, uzyskana dla j-tego wariantu wielkości wejściowych/ i bada się następnie uzyskane w rzeczywistości rezultaty, sprawdzając czy zawierają się one w odpowiednim przedziale, zależnym od parametrów

rozkładu $(\bar{z}_i - \bar{z}_j)$ takimi, że z prawdopodobieństwem $(1 - \alpha)$ zawierać w nim powinny uzyskiwane rezultaty rzeczywiste - przedział taki nazywany jest przedziałem ufności. Jeżeli w eksperymencie na podstawie otrzymanych rezultatów \hat{z}_i, \hat{z}_j utworzy się przedział $[(\hat{z}_i - \hat{z}_j) - \epsilon, (\hat{z}_i - \hat{z}_j) + \epsilon]$ taki, że

$$P\left\{(\hat{z}_i - \hat{z}_j) - \epsilon < (\bar{z}_i - \bar{z}_j) < (\hat{z}_i - \hat{z}_j) + \epsilon\right\} = 1 - \alpha$$

sprawdza się, czy zawiera on zero i stwierdza się, że brak podstaw do odrzucenia hipotezy o równości $\bar{z}_i = \bar{z}_j$ wówczas, gdy zero jest zawarte w przedziale ufności. W przypadku gdy wartość 0 jest za przedziałem ufności, hipotezę o równości $\bar{z}_i = \bar{z}_j$ odrzuca się - przyjmuje się więc, że zmiana parametru wejściowego z wartości tej na j-tą powoduje istotne zmiany rezultatów działania systemu.

Sposób określania zakresu przedziału ufności $2 \cdot \epsilon$ zależy od informacji o charakterze rozkładu. W praktyce spotyka się najczęściej następujące przypadki^{x/}:

- przy założeniu, że rozkład jest normalny i znane są wariancje stosuje się standaryzowanie do rozkładu $N(0,1)$ i wykorzystuje się odpowiednie tablice dla tego rozkładu;

- jeśli zakłada się, że rozkład jest normalny, lecz nieznana jest wariancja, wykorzystuje się statystykę t i tabelicowane dane o rozkładzie T Studenta;

- przy znacznej ilości obserwacji badany rozkład przybliża się normalnym;

- w przypadku braku danych o rozkładzie wykorzystuje się nierówność Czebyszewa.

W literaturze^{xx/} znaleźć można opisy testów statystycznych opartych na innych, często dość złożonych statystykach ze specjalnie dla nich przygotowywanymi tablicami. Problemy doboru testów statystycznych nie są tutaj szerzej rozwijane. W przypadku, gdy porównywanie eksperymentów wykonuje się wielokrotnie a wyciąga się wnioski natury ogólnej w oparciu o całość rezultatów badań, pojawia się dodatkowy problem związany z jakością wnioskowania. Otóż jeśli wykonuje się K porównań $/i=1, \dots, K/$, w każdym z nich poziom błędów wynosi α_i a

^{x/} Szerzej przedstawiono to w podrozdziale III.3 poświęconym ocenie wiarygodności rezultatów modelowania.

^{xx/} Zagadnienie to potraktowano szeroko w: Jack P.C. Kleijnen "Statisticheskiye metody w imitacionnom modelirovanii" Moskwa. "Statistika 1978 tłum. z ang. "Statistical techniques in simulation" - rozdz. V.A.4, V.B.

Wniosek ogólny związany jest ze wszystkimi porównaniami, to o globalnym poziomie błędów α_E wiadomo jedynie, że:

$$\alpha^E \leq \sum_{i=1}^K \alpha_i$$

W tego też narzucanie wymagania poziomu dokładności $1-\alpha$ na całość wnioskowania pociąga za sobą znacznie zwiększone wymagania na dokładność wnioskowania w pojedynczych porównaniach eksperymentów. W praktyce przy braku apriorycznej informacji przyjmuje się oszacowanie od góry i stąd wynika m -krotnie zmniejszenie dopuszczalnego poziomu błędów w pojedynczych testach

$$\alpha_E \leq \alpha \Rightarrow \alpha_i \leq \frac{\alpha}{K} \quad \text{dla } i=1, \dots, K$$

W przypadku 2/, czyli wówczas, gdy wykonuje się tzw. porządkowanie eksperymentów, problemy wnioskowania statystycznego przedstawiają się nieco inaczej.

Przed wszystkim za niedogodne uznaje się określanie jedynie określonego poziomu poprawności wnioskowania $P^* = 1-\alpha$. Zamiast tego wykorzystuje się wprowadzone przez Bechhofera^{x/} tzw. strefy /zobacz/ nierozróżnialności δ^* . Wynika to z następującego rozumowania:

Niech k układów eksperymentu należy uporządkować zgodnie z regułą:

$$\mu_{(1)} \leq \mu_{(2)} \leq \dots \leq \mu_{(k-1)} \leq \mu_{(k)}$$

Jeżeli jest przy tym oczywiście wcześniej wiadomo, któremu układowi eksperymentu odpowiada $\mu_{(k)}$. Należy wybrać wariancję z najwyższą średnią. Prawdopodobieństwo prawidłowego wyboru nie powinno być mniejsze od zadanego poziomu $P^* = 1-\alpha$. Jeżeli średnie w poszczególnych układach eksperymentu różnią się nieznacznie między sobą, to konieczne jest wykonanie wielu powtórzeń w danym układzie, lecz przecież jednocześnie ewentualne straty związane z nieprawidłowym wyborem są nieznaczne. Dlatego postanowiono gwarantować poziom poprawności P^* tylko w takim przypadku jeżeli różnica między wartościami średnimi jest większa niż określone minimum δ^* :

$$P \text{ /Prawidłowego wyboru/} \geq P^* \text{ jeżeli } \delta \equiv \mu_{(k+1)} - \mu_{(k)} \geq \delta^*$$

^{x/} Patrz prezentowana na poprzedniej stronie książka: Jack P.C. Kleijnen, "Statystyczne ..."

Porządkowanie eksperymentów z reguły wykonuje się w oparciu o wartość średnią. Jako najlepsze wybiera się te warianty, którym odpowiada największa wartość średniej. W tej sytuacji podstawowym problemem jest ocena wiarygodności wnioskowania. Stosuje się przy tym dwa podejścia. Podstawowe podejście polega na ocenie ilości wymaganych powtórzeń eksperymentu w zależności od zadanych P^* i δ^* . Możliwe jest podejście drugie, gdy przy określonych np. δ^* i ilości powtórzeń ocenia się poziom P^* .

Przy porównywaniu eksperymentów w oparciu o tzw. strefy nierozdzielności wykorzystuje się dość skomplikowany aparat statystyki matematycznej. Dokładnie przedstawiono to w podrozdz. V.b pracy 57/.

Najdokładniej opracowano przypadek, gdy można przyjąć hipotezę normalności rozkładu i w zależności od tego, czy wariancje są znane, czy nie znane, równe, czy różniące się między sobą w różnych badanych wariantach eksperymentu, stosuje się szereg szczególnych testów statystycznych opartych z reguły o specjalnie konstruowane dla takich celów tablice statystyczne.

Jedynie w tzw. metodzie Srivastary w przypadku, gdy nieznana jest nie tylko wariancja ale i typ rozkładu prawdopodobieństwa stosuje się powszechnie znany rozkład T Studenta.

W metodzie tej wariancję estymuje się w oparciu o następujące wyrażenie

$$S^2 = [k \cdot (m-1)]^{-1} \cdot \left[\sum_{i=1}^k \sum_{s=1}^m (X_{i,s} - \bar{X}_i)^2 + 1 \right]$$

gdzie: i - numer wariantu eksperymentu $i=1, \dots, k$
 s - numer powtórzenia $s=1, \dots, m$
 $X_{i,s}$ - rezultat w s -tym powtórzeniu i -tego wariantu eksperymentu;

$$\bar{X}_i = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m X_{i,s}$$

Wymaganą ilość powtórzeń m określa się z nierówności

$$m \geq \left(\frac{\sqrt{S^2} \cdot a_m \cdot \sqrt{2}}{\delta^*} \right)^2$$

gdzie: a_m - wartość progowa określana na podstawie rozkładu T Studenta z $V=k \cdot (m-1)$ stopniami swobody,

około ta, dla której spełniona jest zależność

$$\int_{-\infty}^{-a_m} f_V(t) dt = \frac{1-P^*}{k-1}$$

Nierówność przedstawioną wyżej, można po odpowiednich przekształceniach zapisać w postaci:

$$\delta^* = \sqrt{\frac{2 \cdot S^2}{m}} \cdot a_m$$

zwalającej na ocenę wiarygodności wnioskowania przy określonej, danej m ilości powtórzeń wariantów eksperymentu.

Należy podkreślić, że w przypadku gdy porządkowanie wykonuje się niejednokrotnie, tzn. wówczas, gdy jest porządkowanych wiele różnych wariantów eksperymentu, obowiązuje nierówność przedstawiona przy wielokrotnym porównywaniu eksperymentów tzn.

$$\alpha_E \leq \sum_{i=1}^k \alpha_i$$

Oznacza to, że przy ustalonej wiarygodności w pojedynczym teście statystycznym, znacznemu zmniejszeniu ulega wiarygodność globalna, lub inaczej podchodząc; przy wymaganej α_E wymagania na α_i rosną k -krotnie.

ROZDZIAŁ IV

BADANIA SYSTEMU OPL METODĄ MODELOWANIA SYMULACYJNEGO

W rozdziałach I, II, III przedstawiono teoretyczne i metodologiczne aspekty optymalizacji procesu kierowania obroną przeciwlotniczą i taktyką operacyjną.

Niniejszy rozdział pomyślany został jako próba zilustrowania związków teoretycznych przykładami praktycznych badań systemowych. W tym celu niejednokrotnie podkreślano, proces kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów ŚNP nieprzyjaciela powietrznego ma złożony i wielotorowy charakter; w pewnym stopniu ogólnie zależy od bardzo dużej liczby synergicznie oddziałujących czynników. Kompleksowe badania uwzględniające chociażby podstawowe czynniki i mające na celu wyznaczenie rozwiązania względnie optymalnego, są niezmiernie trudnym przedsięwzięciem o bardzo dużej pracochłonności. Wymagają: zaangażowania licznych żołnierzy ludzkich; odpowiednio dużych nakładów finansowych koniecznych m.in. do prowadzenia niezbędnych prób poligonowych; dostępu do komputerów EMC o znacznych mocach obliczeniowych; a ponadto przez konieczność badania i porównywania wielkich ilości różnorodnych wariantów rozwiązań systemowych, planować trzeba je w długim horyzoncie czasowym. Zamierzenie takie przekracza możliwości pojedynczego badacza. Prowadzenie badań w tak szerokim zakresie jest nie tylko trudne, ale zwykle bardzo rzadko bezwzględnie konieczne. Praktyka wskazuje, że na różnych etapach planowania rozwojowego/ wybór rozwiązania systemowego dokonywany jest zwykle spośród skończonej, niezbyt dużej liczby dopuszczalnych wariantów. Wynika to z konieczności uwzględnienia szeregu ograniczeń; organizacyjnych, ekonomicznych, technicznych itp. Błędem byłoby wszakże wnioskowanie, że w tej sytuacji badania optymalizacyjne są zbędne. Trzeba je prowadzić po to, aby: ustalać i usuwać najsłabsze ogniwa; z rozwiązań o porównywalnych wymaganych nakładach finansowych wybierać te, które gwarantują najwyższą skuteczność bojową; a także po to, aby racjonalnie różnicować i określać odpowiednie strategie rozwojowe w wojskach OPL.

Badania wykonane przez autora i przedstawione w rozprawie mają charakter z konieczności wycinkowy. Prezentowane są z nadzieją, że każą dalsze kierunki poszukiwań, a przede wszystkim ujawnią potencjalne możliwości związane z badaniami procesów przebiegających w systemie obrony przeciwlotniczej, w oparciu o symulacyjne modelowanie funkcjonowania systemu podczas odpięcia nalołów nieprzyjaciela powietrznego.

Badania prezentowane w rozprawie mają jednocześnie charakter wycinkowy, gdyż w znacznej części wykonywano je na zapotrzebowanie Wództwa Wojsk Obrony Przeciwlotniczej w związku z planowanym rażaniem Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia /PZSD/ dojsk OPL. Podstawowym wymaganiem stawianym przez DWOPL była ocena wpływu jakie wywiera automatyzacja procesów zbierania, przetwarzania przesyłania informacji o sytuacji powietrznej, oraz wypracowywania decyzji przydziału celów do zwalczania, na skuteczność bojową systemu obrony przeciwlotniczej podczas odpięcia nalołów ŚNP nieprzyjaciela powietrznego. Z punktu widzenia klasycznej teorii optymalizacji sytuacja jest o tyle nietypowa, że pozornie nie ma podstawowego problemu jakim jest wybór rozwiązania, które ze względu na przyjęte kryteria oceny, można byłoby w określonych warunkach uznać optymalne.

W danej sytuacji określone są przecież kierunki dokonywanych zmian /automatyzacja i dzięki temu skracanie czasów obiegu informacji oraz tworzenie warunków do lepszej koordynacji działań/ oraz one są również wartości parametrów sterujących zapewniające osiągnięcie ekstremalnych wartości wskaźników-kryteriów /brak opóźnień czasowych, nieograniczona przepustowość ogniw informacyjno-decyzyjnych/, można więc sądzić, że nie ma problemu optymalizacji. Są to jednak tylko pozory, gdyż w istocie przez ilościowy pomiar wpływu automatyzacji na efektywność bojową systemu OPL, odniesienie go do skutków innych zmian w systemie i porównanie odpowiednich nakładów finansowych, stwarza się warunki do wyboru jednego spośród wielu możliwych kierunków działań modernizacyjnych. Ponadto ocenić można, że bardzo celowe są dalsze działania w kierunku automatyzacji, tzn. kolejne modyfikacje PZSD, przy ustalonych parametrach innych podsystemów, w założonych warunkach działania, są celowe ze względu na relację między uzyskiwanym przyrostem efektywności bojowej a nakładami niezbędnymi dla jego osiągnięcia.

Rozdział niniejszy poświęcony praktycznym badaniom systemowym łączy się z pięciu części.

W podrozdziale IV.1 przedstawiono warunki bojowe, w których bada się funkcjonowanie systemu OPL. Konieczność ścisłego określania danych charakteryzujących sytuację bojową wynika głównie z faktu, że jak to niejednokrotnie podkreślano, efektywność bojowa nie jest niezależną jakością systemową lecz związana jest i wynika zawsze z konkretnych warunków działania.

Wymagania postawione przez DWOPL, a także ograniczony potencjał badawczy, narzuciły konieczność ograniczenia się w trakcie badań do określonej niewielkiej ilości wariantów rozwiązań. Sposób i prezentacji wyboru oraz warianty rozwiązań systemowych uwzględniane podczas badań, przedstawiono w podrozdziale IV.2.

Specyficzny układ badań, odmienny od typowego schematu działań optymalizacyjnych, spowodował konieczność odpowiedniego dostosowania ogólnych założeń metodologicznych prezentowanych m.in. w rozdziale III. Metodologiczne aspekty organizacji procesu badawczego przyjętych warunkach przedstawiono w podrozdziale IV.3.

Opis badań, rezultaty modelowania symulacyjnego wraz z ich analizą ilościową, prezentowane są w podrozdziale IV.4.

Ostatni podrozdział IV.5 zawiera omówienie uzyskanych wyników oraz podstawowe wnioski o charakterze merytorycznym wynikające z przeprowadzonych badań.

V.1. Warunki prowadzenia działań bojowych uwzględniane w badaniach systemu OPL

W rozdziale I w trakcie analizy ogólnych zagadnień związanych z oceną efektywności systemu OPL stwierdzono, że efektywność bojowa nie jest abstrakcyjną miarą opisującą niezależną jakością systemową, lecz związana jest każdorazowo z określonymi warunkami funkcjonowania systemu. Dlatego określając wskaźniki efektywności bojowej systemu OPL, należy jednoznacznie wskazywać na sytuację bojową, w której ocenia się jakość działania systemu. Kompleksowa ocena efektywności systemu powinna więc zawierać zbiór ocen dotyczących różnych warunków działania.

Ograniczony cel i zakres badań, oraz konieczność zakończenia ich w ograniczonym horyzoncie czasowym spowodowały, że postulat uwzględniania w badaniach pełnej gamy różnorodnych warunków i sy-

racji bojowych uznano za nierealny. Zdecydowano natomiast uwzględnić w badaniach jeden podstawowy wariant sytuacji bojowej, reprezentatywny dla sytuacji spotykanych najczęściej, dający jednocześnie możliwość oceny jakości działania systemu OPL w warunkach ekstremalnych, czyli odpieranie nalotu zmasowanego ŚNP nieprzyjaciela.

Uznano, że rezultaty badań dotyczące tak dobranego wariantu mogą być traktowane jako oszacowanie "od dołu", a wyznaczone miary odpowiednich wskaźników efektywności bojowej wskazują na minimalny gwarantowany poziom tych wskaźników w innych sytuacjach bojowych. Odpieranie nalotu zmasowanego to podstawowa forma walki systemu OPL nieprzyjacielem powietrznym. Jest to jednocześnie najtrudniejsze zadanie, wymagające pełnego zmobilizowania i użycia wszystkich potencjalnych możliwości bojowych. Procesy zachodzące w systemie OPL, szczególnie w podsystemach rozpoznania i dowodzenia, osiągają wówczas najwyższe natężenie i stopień skomplikowania. Dlatego badania systemu OPL postanowiono prowadzić w warunkach odpowiadających walce podczas nalotu zmasowanego. Aby sytuację bojową odwzorowywaną w trakcie badań uczynić maksymalnie wiarygodną, postanowiono skorzystać z materiałów dotyczących ćwiczenia koalicyjnego rozgrywanego na szczeblu operacyjno-strategicznym. W okresie przygotowywania rozprawy, spośród najpoważniejszych ćwiczeń spełniających te wymogi, najlepiej udokumentowane w zakresie obrony przeciwlotniczej było ćwiczenie LATO-82. Ponieważ w materiałach tych najbardziej szczegółowe dane dotyczą etapu wprowadzania głównego zgrupowania uderzeniowego /6 i 7 A/ frontu do bitwy, postanowiono przyjąć do badań sytuację bojową występującą podczas odpierania nalotu zmasowanego ŚNP nieprzyjaciela, wykonywanego na główne zgrupowanie uderzeniowe frontu Północnego podczas wprowadzenia go do bitwy. Szczegółowe dane, opisujące sytuację bojową oraz decyzję Dowódcy Wojsk OPL określającą zadania i sposób działania systemu OPL, zawarte są w załącznikach 10-14.

W przedstawionej sytuacji nieprzyjaciel powietrzny wykonuje nalot z dwóch kierunków: północno-zachodniego i zachodniego. Ponieważ model symulacyjny i jego programowa implementacja mają tę właściwość, że czas trwania pojedynczego eksperymentu symulacyjnego rośnie w przybliżeniu z kwadratem liczby tras ŚNP uwzględnionych w modelu, postanowiono, że podczas badań obliczenia wykonywane będą w ograniczonym zakresie. W związku z tym, w badaniach uwzględnia się walkę ŚNP podczas nalotu zmasowanego tylko na jednym, podstawowym, czyli

schodnim kierunku. Niesie to oczywiście ryzyko pewnych nieścisłości w procesie badawczym, przede wszystkim ze względu na niedostateczne uwzględnienie dodatkowego wysiłku systemu OPL w tym rejonie, gdzie działają ŚNP jednocześnie z obu kierunków: zachodniego i północno-zachodniego. Zachowany zostaje jednak ogólny charakter sytuacji bojowej, czyli odpieranie nalotu zmasowanego ŚNP na wojska operacyjne na szczyblu frontu.

Aby zapewnić porównywalność rezultatów dotyczących różnych wariantów rozwiązań systemowych przyjęto jako zasadę, że wszystkie eksperymenty obliczeniowe dotyczyć powinny tej samej sytuacji bojowej. W tym celu określono model nalotu ŚNP wykonywanego z kierunku zachodniego oraz ugrupowanie i sposób działania wojsk OPL, podstawie z danych zawartych w planie i w legendzie do planu L, zgodnie z zasadami modelowania przedstawionymi w rozdziale II. Szczegółowe dane o nalocie^{x/} oraz ugrupowanie wojsk OPL podczas odpierania prezentowane są w załączniku 15. Inne parametry lotu określono zgodnie z zasadami prezentowanymi w podrozdziale 2.1 oraz w załączniku 4. Pozostałe dane, opisujące całokształt sytuacji bojowej, zawarto w wymienionych wcześniej załącznikach. Dodatkowe dane dostępne są w materiałach z ćwiczenia LATO-82.

2. Dobór wariantów rozwiązań systemowych uwzględnianych w procesie badawczym

Podstawowym celem prezentowanych tutaj badań jest prezentacja przyjętej metody badawczej. Prezentuje się ją na przykładzie badań porównawczych, w których ocenia się i porównuje różne warianty rozwiązań systemowych w zakresie kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. W związku ze zbieżnym w czasie zapotrzebowaniem DW OPL na ocenę skutków wprowadzenia automatyzacji do procesu kierowania, metodę ogólną charakterystyka nalotu wygląda następująco:

W nalocie bierze udział 310 samolotów. Realizują one następujące zadania bojowe:

- obozwardnianie podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego
 - 12 s-tów;
 - osłona przed atakami lotnictwa myśliwskiego - 31 s-tów;
 - obozwardnianie środków ogniowych OPL - 78 s-tów;
 - uderzenia na wojska operacyjne i inne obiekty - 189 s-tów.
- ŚNP działają głównie na małych i średnich wysokościach i tak:
- 213 samolotów - na wysokościach do 600 m;
 - 60 samolotów - na wysokościach 600-2000 m;
 - 37 samolotów - na wysokościach powyżej 2000 m.

odę badawczą postanowiono przedstawić na przykładzie realizacji tego zadania.

Drugi, utylitarny cel badań, polega więc na ocenie i pomiarze wpływu zastosowania Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia /PZSD/ na efektywność bojową systemu OPL. Korzystny zbieg koliczności umożliwił połączenie i jednoczesną realizację obu celów.

Wychodząc z wymagań postawionych przez Dowództwo Wojsk OPL, za odstawę do badań przyjęto dwa bazowe warianty rozwiązań. Odpowiadają one odpowiednio:

- tradycyjnemu systemowi planszeto-fonicznemu; oraz
- zautomatyzowanemu systemowi dowodzenia opartemu o obiekty systemów DUNAJEC-P, ŁOWCZA i PASUW-ZT.

Widziano przy tym jednak, że rozpatrzenie i porównanie obu wyróżnionych przypadków, z wielu względów nie jest wystarczające. Z poznawczego punktu widzenia, postępowanie takie nie pozwala na określenie i ocenę mechanizmu zmian, dokonujących się w funkcjonowaniu systemu OPL w wyniku zastosowania środków automatyzacji. Niemożliwe jest określenie tych miejsc i procesów, w których zastosowanie automatyzacji przynosi największe korzyści, ani tych w których modyfikacje są mało skuteczne. Ponadto same pojęcia: system planszeto-foniczny i system zautomatyzowany; mają charakter ogólny, dotyczą głównie wyposażenia w środki techniczne i ogólnych zasad funkcjonowania. W zależności od warunków bojowych zmiany ulegają sposobowi wykorzystywania zestawów technicznych. Dlatego, w obu podstawowych wariantach rozwiązań postanowiono wydzielić dodatkowo przykłady, odpowiadające dwóm krańcowo odmiennym sposobom organizacji kierowania wojskami OPL podczas odpierania nalotu ŚNP nieprzyjaciela.

W pierwszym z nich zakłada się całkowitą decentralizację kierowania, czyli samodzielne działanie pododdziałów ogniowych. Drugi sposób polega na dążeniu do maksymalnej centralizacji kierowania, czyli kierowaniu w każdej sytuacji bojowej z najwyższego z dopuszczalnych /tj. zapewniających doprowadzenie informacji decyzyjnych do podwładnych przed przekroczeniem przez ŚNP rubieży ostatecznego postawienia zadania/ poziomów hierarchicznych.

W ten sposób określono cztery podstawowe warianty rozwiązań systemowych:

Wariant 1. Tradycyjny planszeto-foniczny system dowodzenia i całkowita decentralizacja wysiłku ogniowego. Pododdziały ogniowe działają samodzielnie, wykrywając i ostrzeliwując te ŚNP, które wykonują lot w ich sektorach odpowiedzialności, prowadząc ogień zgodnie z zasadą: "widzę - strzelam - melduję".

Wariant 2. Tradycyjny planszeto-foniczny system dowodzenia i maksymalny, spośród dopuszczalnych w danych warunkach, zakres centralizacji kierowania. Decyzje wypracowywane są w najwyższych spośród ogniw decyzyjnych, dla których spełniony jest warunek, że czas wpływający od momentu uzyskania danych o celu, do chwili przekroczenia przez ŚNP rubieży ostatecznego postawienia zadania pozwala na przetworzenie danych, wypracowanie decyzji i przekazanie informacji decyzyjnej podwładnym /we wszystkich ogniwach danego "ciągu decyzyjnego" np. PłSD, WL i OPL F, PłSD L i OPL A, PD OPL ZT, SD prplot, materia ogniowa/.

Pododdziały ogniowe ostrzeliwują wykryte przez siebie cele wówczas gdy:

- cele są wskazane do zwalczania przez przełożonego, lub
- cele znajdują się w sektorze odpowiedzialności a ich zwalczanie nie koliduje z koniecznością ostrzeliwania innych celów, wskazanych do zwalczania przez przełożonego.

Wariant 3. Zautomatyzowany system dowodzenia i całkowita decentralizacja wysiłku ogniowego. Reguły działania pododdziałów ogniowych są takie same jak w wariacie 1.

Wariant 4. Zautomatyzowany system dowodzenia i najwyższy spośród dopuszczalnych w danych warunkach zakres centralizacji kierowania. Organizacja zwalczania celów taka sama jak w wariacie 2.

Dla właściwego przygotowania danych opisujących poszczególne warianty rozwiązań, konieczne stało się określenie podstawowych parametrów systemu ulegających zmianie wraz z wprowadzeniem zautomatyzowanego systemu dowodzenia. W badaniach przyjęto, że podstawowymi parametrami, które ulegają w tym przypadku modyfikacji, są opóźnienia czasowe ΔT_{OPR} , ΔT_{OPD} , ΔT_{DEC} , powstające w różnych ogniwach i relacjach podczas zbierania, przetwarzania i przesyłania informacji o sytuacji powietrznej oraz wypracowywania i przekazywania decyzji określających sposób zwalczania ŚNP nieprzyjaciela. Opóźnienia czasowe jako parametry rozwiązań mają przy tym tę właściwość, że przy ich pomocy można łatwo odwzorowywać zmiany innych właściwości systemu^{x/}.

^{x/} Np. zwiększoną dokładność informacji w sieci wskazywania i powiadamiania odwzorowuje się przez skrócenie czasu niezbędnego do jej przyjęcia. Dokładniej przedstawiono to w podrozdz. II.3 i II.4.

niany wartości ΔT^{OPR} , ΔT^{OPD} , ΔT^{DEC} dokonywane są podczas badań kompleksowych — odpowiadają wprowadzeniu i zastosowaniu środków automatyzacji we wszystkich ogniwach systemu OPL. W tej sytuacji nie można wyznaczyć funkcyjnej zależności między skutecznością bojową a wartościami poszczególnych opóźnień czasowych. Nie można więc, nawet w przybliżeniu, określić sposobu w jaki automatyzacja wpływa na efektywność bojową systemu. Niedogodność ta stała się jedną z przyczyn rozdzielenia rozwiązań bojowych na warianty różniące się zakresem centralizacji w procesie kierowania.

Modyfikacje procesu kierowania prowadzą do zmian efektywności bojowej systemu OPL, głównie przez następujące mechanizmy:

1. Uzyskanie danych o celu^{x/} przed przekroczeniem przez ŚNP ru-
leży ostatecznego postawienia zadania powoduje zwiększenie prawdopodobieństwa wykrycia celu przez pododdział ogniowy

$$P_{WYKR}^1 = P_{ZW} > P_{BW} = P_{WYKR}$$

2. Dopływ informacji decyzyjnych, określających m.in. podwładnych którzy mają zwalczać cele, wywołuje skutki dwojakiego rodzaju:

- cele przydzielone do zwalczania, podwładny wykrywa i ostrzeliwuje niezależnie od położenia trasy celu względem sektora odpowiedzialności /cele niewskazane zwalczane są tylko wówczas, gdy ich trasy zechodzą przez sektor odpowiedzialności/;

- cele, których zwalczanie uniemożliwiłoby oddziaływanie na inne cele, wskazane do zwalczania z wyższym priorytetem, nie są przez podwładnych ostrzeliwane.

Jak to wcześniej już zaznaczono określenia:

- tradycyjny planszeto-foniczny system rozpoznania i dowodzenia, oraz

- zautomatyzowany system rozpoznania i dowodzenia;
ją charakter bardzo ogólny a przez to niejednoznaczny. Dla uniknięcia ewentualnych nieporozumień niezbędne jest więc ich rozwinięcie i uszczegółowienie.

Określenie PLANSZETOWO-FONICZNY SYSTEM ROZPOZNANIA I DOWODZENIA używane jest w odniesieniu do występujących aktualnie w wojskach L: stanu wyposażenia w środki techniczne oraz sposobu funkcjonowania opartego o obowiązujące aktualnie instrukcje i regulaminy.

Wskazanie celu w wyniku nakazania zwalczania przez przełożonego lub uzyskanie informacji o celu z sieci powiadamiania, wskazywania lub uprzedzenia.

lny model działania systemu podczas odpierania nalotów nieprzy-
tela powietrznego przedstawiono w rozdziale II.

tem ten jest dokładnie opisany w literaturze, dostępne są regu-
lany i instrukcje regulujące jego funkcjonowanie w warunkach bo-
ych, dlatego za niecelowe uznano przytaczanie w pracy szczegóło-
n opisów. W tym miejscu należy jedynie zaznaczyć, że w tradycyj-
systemie planszeto-fonicznym znajdują się pewne podsystemy^{x/},
których procesy zbierania, przetwarzania i zobrazowania informa-
o sytuacji powietrznej są częściowo zautomatyzowane.

W celu przygotowania danych do badań konieczne stało się oszaco-
ie parametrów systemu, w tym szczególnie opóźnień czasowych
 ΔT_{OPD} , ΔT_{DEC} , w różnych ogniwach i relacjach. Wykonano w tym celu
n. analizę powiązań informacyjnych między podstawowymi ogniwami
yzyjnymi a ich otoczeniem systemowym. Każde ogniwo decyzyjne
raktowano jako "czarną skrzynkę" i określono jego "wejścia" i
jścia" informacyjne. Wyniki tej analizy, w postaci szczegółowych
winięć ogólnego schematu z podrozdziału II.4.2, przedstawiono w
ęczniku 16. W oparciu o rezultaty tej analizy, po wykorzystaniu
ygotowanych w Dowództwie Wojsk OPL modeli sieciowych^{xx/} i przy
ględnienu przyjętego przez Dowódcę Wojsk OPL w ćwiczeniu LATO-82
nu OPL^{xxx/}, dokonano oszacowania wartości liczbowych danych, nie-
dnych do modelowania symulacyjnego. Podstawowe parametry różni-
ęce bazowe warianty rozwiązań, czyli opóźnienia czasowe przed-
wiono w załączniku 17.

POLOWY ZAUTOMATYZOWANY SYSTEM DOWODZENIA /PZSD/ wojskami OPL
istnieje jeszcze realnie jako całość. Opracowano natomiast je-
szczegółową koncepcję, a prototypowe egzemplarze podstawowych
ektów systemu przechodzą już badania kwalifikacyjne, przygotowa-
też plany wdrażania tego systemu do wojsk obrony przeciwlotniczej.

-
- / System KRAB-1 /k-1/ w relacjach:
SD prplot - baterie ogniowe KUB
SD BRPlot - dywizjon ogniowy KRUG
System ZENIT /eksperymentalny/, w prplot OSA.
 - / "Modele sieciowe realizacji procesów informacyjno-decyzyjnych
w systemie OPL na szczeblu A i F" 1976 Bibl. DWOPL 05413 "Zwery-
fikowane modele sieciowe realizacji procesów informacyjno-de-
cyzyjnych w systemie OPL na szczeblach operacyjnych" Etap II-
1977 r. Bibl. DWOPL 05630.
 - / "Legenda do planu OPL Wojsk FP w czasie wprowadzenia do bitwy
pierwszego rzutu operacyjnego" i związane z nią objaśnienia -
załączniki: 10, 11, 12, 13, 14.

Badania PZSD prowadzone są głównie w oparciu o dane projektowe. Ponieważ dostęp do projektu PZSD jest w znacznym stopniu ograniczony, a także ze względu na fakt, że opracowano kilka wersji projektu, postanowiono w pracy przytoczyć podstawowe dane charakteryzujące PZSD.

Dane opisujące Polowy Zautomatyzowany System Dowodzenia umieszczono w załącznikach 18 i 19.

W celu przygotowania danych do badań i oszacowania parametrów systemu, w tym szczególnie opóźnień czasowych, dokonano podobnie jak w systemie planszeto-fonicznym analizy powiązań informacyjnych. W oparciu o rezultaty tej analizy, po wykorzystaniu danych dotyczących wymagań taktyczno-technicznych na obiekty PZSD, oraz przy uwzględnieniu rozwiązań przyjętych w Planie OPL z ćwiczenia LATO-82, oszacowano wartości liczbowe parametrów systemowych. Wartości podstawowych parametrów, czyli opóźnień czasowych, przedstawiono w załączniku nr 20.

Oprócz wymienionych tutaj wariantów 1, 2, 3 i 4 postanowiono dla celów porównawczych, kierując się pewnymi wskazówkami metodologicznymi^{x/}, uwzględnić w badaniach dodatkowe warianty rozwiązań systemowych. Są to warianty utopijne, odpowiadające systemowi z zerowymi opóźnieniami czasowymi. Założono w nim, że zarówno obieg informacji o sytuacji powietrznej, jak i wypracowywanie i przekazywanie decyzji oraz przepływ tzw. informacji zwrotnych, odbywają się bez opóźnień czasowych.

Dokładniejsze dane, charakteryzujące organizację badań dla przyjętych wariantów rozwiązań systemowych, przedstawiono w podrozdz. IV.4.

IV.3. Metoda badawcza i organizacja procesu badań

Przyjęta w rozprawie koncepcja prezentacji metody badawczej na przykładzie badań porównawczych, związanych z wprowadzeniem PZSD do Planu OPL, ma konsekwencje natury metodologicznej.

W badaniach nie poszukuje się rozwiązania najlepszego gdyż jest ono znane. Utylitarnymi celami badań praktycznych są oceny: mechanizmu dokonujących się zmian i ich wpływu na efektywność bojową systemu. Nie jest to więc typowe działanie optymalizacyjne. W związku z tym niektóre problemy metodologiczne prezentowane w rozdziale III wymagają specjalnego naświetlenia.

^{x/} Opisano je w podrozdz. IV.3.

Postępując w kolejności przyjętej w rozdziale III należy zauważyć, że mimo stosowania wielu różnych wskaźników do oceny efektywności bojowej, w badaniach nie występuje podstawowy dylemat optymalizacji wielokryterialnej, czyli sprzeczność między dążeniem do osiągnięcia i realizacji różnych celów cząstkowych.

Wprowadzenie nowych rozwiązań, opartych o automatyzację wielu procesów w podsystemach rozpoznania i dowodzenia, prowadzi do doskonalenia systemu i pozwala na zbliżenie /a przynajmniej nieoddalenie/ do wszystkich podstawowych celów cząstkowych. Jedynym wskaźnikiem, który ulega pogorszeniu są nakłady finansowe. Za cenę dodatkowych kosztów uzyskuje się jednak pozytywny charakter zmian, niezależnie od sposobu oceniania.

Określony na wstępie zbiór wariantów rozwiązań podlegających analizie sugerować może, że nie ma potrzeby stosowania technik potrzebnych do tworzenia nowych wariantów rozwiązań. Techniki te, szczególnie techniki heurystyczne, nie są jednak bezużyteczne. Dla pełnego przeanalizowania i oceny skutków automatyzacji wyznaczyć trzeba bowiem te miejsca i funkcje w procesie kierowania, które ulegają istotnej zmianie i w znaczący sposób mogą wpływać na efektywność bojową systemu. Dla tego celu przydatne są niektóre elementy wybranych technik heurystycznych.

Wykorzystując jedną z podstawowych zasad metody analizy funkcji^{x/}, czyli odwzorowywanie obiektów za pomocą funkcji przez nie realizowanych, wyróżnić można następujące podstawowe funkcje związane z kierowaniem obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych^{xx/}.

1. Zdobywanie informacji o sytuacji powietrznej oraz powiadomienie i ostrzeżenie wojsk;
2. Wypracowywanie decyzji określających m.in. wybór celów i kolejność ich zwalczania;
3. Przekazywanie informacji decyzyjnych do podwładnych;

x/ Opis metody analizy funkcji - patrz podrozdz. III.2.
xx/ Pominięto tutaj niektóre funkcje i czynności, w szczególności te które związane są z planowaniem i przygotowaniem działań. Wynika to ze specyfiki modelu, który nie jest zbyt przydatny do prowadzenia gry dowódczo-sztabowej. Dlatego te działania, w których człowiek dokonuje określonych wyborów /np. wybór sektorów odpowiedzialności dla baterii ogniowych w prplot KUB/, odwzorowywane są w sposób przybliżony, przez przyjęcie założenia, że w systemie rzeczywistym działania te prowadzone są w sposób zbliżony do optymalnego i nie powodują istotnego obniżenia potencjalnych możliwości bojowych systemu.

4. Pozykiwanie szeroko rozumianej informacji zwrotnej;
5. Koordynacja działań naziemnych środków OPL z lotnictwem myśliwskim, organizacja i realizacja współdziałania.

W wyróżnionym tutaj ciągu funkcji widać, że pierwsza z nich /zdobycie informacji o sytuacji powietrznej/ warunkuje wykonanie innych. Stosując pojęcia używane w metodzie analizy funkcji można zauważyć, że "nośnik", czyli rozwiązanie przyjęte w systemie planszeto-fonicznym, nie pozwala na sprawne realizowanie tej funkcji. Nowy "nośnik", czyli zastosowane w nowym rozwiązaniu systemu środki automatyzacji prowadzą do zwiększenia sprawności obiegu informacji o sytuacji powietrznej. Należy więc w badaniach uwzględnić i odwzorować zmiany zachodzące przy realizacji pierwszej funkcji. W przyjętym modelu wykonuje się to przez odpowiednie zmiany wartości opóźnień czasowych ΔT^{opi} przy przekazywaniu informacji o sytuacji powietrznej.

W zautomatyzowanym systemie dowodzenia zwiększeniu ulega także sprawność realizacji innych funkcji. Szybszy dostęp do informacji o sytuacji powietrznej, zwiększona dokładność danych, komputerowe wspomaganie procesów obróbki danych i wypracowywania decyzji, lepsza znajomość stanu podległych wojsk m.in. dzięki szybszemu przepływowi informacji zwrotnych - to czynniki, które wpływają na jakość procesów decyzyjnych. Podstawowym sposobem odwzorowywania zmian przy realizacji drugiej i trzeciej funkcji, jest modyfikacja wartości opóźnień czasowych ΔT^{OPD} , ΔT^{DEC} , opisujących czas jaki upływa od momentu przekazania informacji o ŚNP do ogniwa decyzyjnego, do momentu, w którym decyzja wypracowana w tym ogniwie dociera do podwładnego. Należy zaznaczyć, że dzięki komputerowemu wspomaganie procesu decyzyjnego w zautomatyzowanym systemie dowodzenia jakość wypracowywanych decyzji także jest wyższa niż w systemie planszeto-fonicznym. W momencie rozpoczęcia badań nieznane były ściśle dane dotyczące algorytmów i programów stosowanych w zautomatyzowanym systemie dowodzenia. Dlatego w badaniach przyjęto, że w obu wariantach systemu obowiązuje jednakowy sposób wypracowywania decyzji, zbliżony do stosowanego w tradycyjnym systemie planszeto-fonicznym.

Szeroko rozumiana informacja zwrotna o stanie i działalności bojowej podwładnych, także ma duże znaczenie dla jakości wypracowywanych decyzji. W systemie planszeto-fonicznym informacja zwrotna ma niski priorytet i jak to zaznaczono w rozdziale II, dostępna jest

zwykle w przerwach między okresami intensywnego działania nieprzyjaciela.

Zastosowanie zautomatyzowanego systemu dowodzenia wprowadza i tutaj radykalne zmiany.

Odrębny charakter ma problem koordynacji działań bojowych naziemnych środków OPL i lotnictwa myśliwskiego oraz organizowania i realizacji współdziałania. W tradycyjnym planszeto-fonicznym systemie działania te muszą być planowane ze znacznym wyprzedzeniem, gdyż informacja o sytuacji powietrznej jest mało aktualna^{x/}, a możliwości przekazywania podwładnym danych o zmianach w stosunku do planu współdziałania z lotnictwem myśliwskim, są bardzo ograniczone. Zastosowanie środków automatyzacji prowadzi do znacznego zwiększenia możliwości działania we wspólnej strefie lotnictwa myśliwskiego i naziemnych środków OPL.

Stosując metodę analizy funkcji, pozytywnie trzeba ocenić rozwiązanie polegające na kierowaniu obroną przeciwlotniczą związku taktycznego z SD dywizyjnego prplot. Rozwiązanie takie umożliwia realizację założonych funkcji w zmniejszonej ilości obiektów, pozwala na koncentrację wysiłku przez wykorzystywanie najskuteczniejszego środka OPL na szczeblu ZT - dywizyjnego prplot, a możliwe jest dzięki odpowiedniemu wyposażeniu SD prplot. Zastosowanie tego typu rozwiązań odwzorowuje się w modelu m.in. przez skrócenie odpowiednich opóźnień czasowych ΔT^{OPI} , ΔT^{OPD} , ΔT^{DEC} .

Analiza funkcji nie jest jedyną metodą heurystyczną przydatną do analizy zjawisk i procesów zachodzących podczas kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych. Interesujące rezultaty można uzyskać przy pomocy tzw. analizy kontrastowej^{xx/}, która jak warto przypomnieć, polega na wyodrębnieniu par cech, pozytywnej i negatywnej, a następnie eliminacji wpływu cechy negatywnej.

W procesie kierowania dąży się do uzyskania jak największej ilości dokładnych informacji o sytuacji powietrznej. Dla osiągnięcia tego celu wprowadza się w PZSD obiekty bezpośrednio współpracujące ze stacjami radiolokacyjnymi /DP-10, DP-10R, MP-25/ a nowe typy RLS wyposaża się w tzw. wyjście cyfrowe /NUR-21/. Dostęp do aktualnej dokładnej informacji z różnych źródeł jest cechą pozytywną. Towarzyszy jej jednak cecha negatywna, jaką jest groźba zalewu ogniw

x/ Dane o działalności własnego lotnictwa w ogóle nie są w tym systemie przekazywane.

xx/ Opis tej metody przedstawiono w podrozdz. III.2.

decyzyjnych nadmierną ilością zbyt szczegółowych, często wzajemnie sprzecznych danych, uniemożliwiającego efektywną analizę tych danych i wykorzystanie ich w wymaganym czasie. Dla zniwelowania wpływu tego negatywnego zjawiska, informacja o sytuacji powietrznej jest analizowana i uogólniana w odpowiednich organach funkcjonalnych /CRI A, CRI F/ i specjalnych obiektach /DP-20/. Sprzeczności o podobnym charakterze występują także w zakresie komputerowego wspomaganie procesu decyzyjnego. Duża ilość informacji i wymagany krótki czas ich przetwarzania wymuszają stosowanie odpowiedniego oprogramowania wspomagającego. Towarzyszy temu jednak groźba schematyczności rozwiązań, gdyż odpowiednie programy obliczeniowe muszą być proste, z jednej strony po to aby wykonywały się w krótkim czasie, z drugiej zaś dlatego, że niemożliwością jest przewidzenie wszystkich warunków rzeczywistego przebiegu działań bojowych. Ograniczenie wpływu tego negatywnego zjawiska osiąga się dzięki temu, że komputery wykorzystuje się do wspomaganie, ale nie zastępowanie człowieka w procesie decyzyjnym. Polega to m.in. na konieczności akceptacji przez odpowiednie osoby funkcyjne rozwiązań wypracowywanych programowo^{x/} i zapewnieniu możliwości wprowadzania do EMC własnych decyzji, wypracowanych przez człowieka. Inną metodą jest stosowanie parametrów sterujących, przez zmianę których człowiek może wpływać na sposób wypracowywania decyzji^{xx/}. Jak już to zaznaczono, algorytmy odpowiednich programów wspomagających procesy decyzyjne, nie były jednoznacznie określone w momencie rozpoczęcia badań, ponadto model i system oprogramowania POSTĘP-3 nie jest przystosowany do współpracy z człowiekiem w trakcie przetwarzania. Dlatego nie znalazł w nim pełnego odwzorowania, zmieniony w stosunku do tradycyjnego, sposób wypracowywania decyzji przyjęty w zautomatyzowanym systemie dowodzenia. Rezultaty badań nie w pełni wykazują więc efekty takich zmian. Po wprowadzeniu systemu do wojsk i zakończeniu odpowiednich badań i ewentualnych modyfikacji algorytmów wspomagających dowodzenie, można zmodyfikować model symulacyjny i system oprogramowania oraz wykonać dodatkowe badania.

Wśród metod heurystycznych prezentowanych w rozdziale III zna-

x/ Formy akceptacji mogą być różne. Jedną z możliwych jest nieingerowanie w określonym czasie osoby funkcyjnej w rozwiązanie proponowane przez EMC.

xx/ Np. w obiekcie DP-40 można zmieniać parametr wskazujący jaka część środków ogniowych podwładnego może być uwzględniona i "wykorzystana" w procesie decyzyjnym.

leża się także metoda ARIZ. Zasada się ona na dążeniu do utopijnego rozwiązania idealnego tzw. Idealnego Wyniku Końcowego /IWK/. Bezpośrednie zastosowanie tej metody nie jest możliwe ani celowe, gdyż zbiór rozwiązań jest dany, trzeba tylko ocenić ich jakość. Podstawowa idea tej metody może być jednak użyteczna. Otóż odzwierciedlając wpływ zmian, wynikających z wprowadzenia zautomatyzowanego systemu dowodzenia, na opóźnienia czasowe w procesach zbierania, przetwarzania i przesyłania informacji, zauważyć można istotne zmniejszenie opóźnień czasowych.

Wartości tych opóźnień, aczkolwiek bardzo się zmniejszają, to jednak w znaczącym stopniu różnią się od zera. Wykorzystując ideę IWK, można wyobrazić sobie rozwiązanie utopijne, czyli system bez opóźnień czasowych. Rozwiązanie takie można uwzględnić w badaniach i otrzymane wartości wskaźników efektywności bojowej porównać z wartościami otrzymanymi dla innych wariantów rozwiązań. Na podstawie takich porównań można ocenić, czy modyfikacje prowadzące do dalszego skracania opóźnień czasowych prowadzą do wzrostu efektywności bojowej a ponadto określić zakres wykorzystania potencjalnych możliwości w istniejących rozwiązaniach, lub inaczej mówiąc, stopień zbliżenia wskaźników efektywności bojowej tych rozwiązań do wskaźników rozwiązania idealnego /IWK/.

Wśród problemów o charakterze metodologicznym związanych z badaniem systemu ważne znaczenie ma ocena realności modelu. Zgodnie z ogólną metodyką postępowania, realność /adekwatność/ modelu ocenia się przez porównanie zjawisk i procesów zachodzących w rzeczywistym systemie oraz w modelu systemu, w jednakowych warunkach. Postępowanie takie nie jest w praktyce możliwe. Nie ma bowiem dostatecznie wiarygodnych danych o zachowaniu się rzeczywistego systemu^{x/} w działaniach bojowych. Doświadczenia związane z lokalnymi konfliktami zbrojnymi dotyczą zwykle szczebla taktycznego, ponadto występują istotne różnice w zakresie uzbrojenia, wyposażenia, wyszkolenia i taktyki działania wojsk, inny jest także teatr działań wojennych. W warunkach poligonowych bada się natomiast tylko fragmenty systemu a warunki w trakcie ćwiczeń znacznie odbiegają od występujących na prognozowanym polu walki.

Brak możliwości dokonania oceny realności modelu w pełnym wymia-

x/ Brak takich danych jest jedną z przyczyn konstruowania i wykorzystywania modelu.

rze nie oznacza rezygnacji z wszelkich prób w tym zakresie. Podczas badań systemowych adekwatność modelu w stosunku do rzeczywistego systemu ocenia się w sposób ciągły. Dokonuje się to przez:

- porównywanie wartości wybranych wskaźników efektywności bojowej otrzymanych w trakcie modelowania, z ocenami ekspertów /także specjalistów zachodnich/;
- dokładne obserwowanie wybranych zjawisk i procesów odwzorowywanych w trakcie modelowania, porównywanie ich z przebiegiem rzeczywistych działań bojowych w lokalnych konfliktach zbrojnych oraz ocenę ich zgodności z odpowiednimi zapisami normującymi /instrukcje, regulaminy, wytyczne itp./;
- porównywanie rezultatów modelowania z rozwiązaniami i ocenami przyjmowanymi podczas ćwiczeń i gier dowódczo-sztabowych;
- badanie zgodności rezultatów modelowania symulacyjnego z wynikami obliczeń, uzyskiwanymi w oparciu o modele analityczne i wytworzone na ich podstawie specjalistyczne oprogramowanie /system GROT-PL/.

Zgodnie z zaleceniami teoretycznymi, przy ocenie realności /adekwatności/ modelu symulacyjnego nie wymaga się pełnej identyczności odpowiednich wskaźników w modelu i w systemie. Za konieczne uznaje się jedynie zawieranie się odpowiednich danych porównawczych w tych samych przedziałach /klasach/ wartości. Oznacza to, że rezultaty uzyskiwane w trakcie modelowania symulacyjnego powinny prowadzić do podejmowania decyzji takich samych jak te, które byłyby wypracowywane w oparciu o obserwację rzeczywistego systemu OPL podczas odpięcia nalotów nieprzyjaciela powietrznego.

Właściwe zaplanowanie, przygotowanie i przeprowadzenie badań systemowych, wymaga zastosowania aparatu teorii planowania doświadczeń. Specyficzny charakter zadania badawczego, polegający na ocenie jakości określonego zbioru wariantów rozwiązań, poważnie ogranicza swobodę w zakresie wyboru planu badań. Parametry rozwiązań uwzględnianych w procesie badawczym nie są zmieniane niezależnie od siebie, a brak dowolności przy ich doborze, praktycznie uniemożliwia tworzenie planu badań zgodnie z ogólnymi zaleceniami teoretycznymi. Poszczególne rozwiązania mają charakter kompleksowy i wynikają z możliwości zestawów sprzętowych, organizacji wojsk, zasad i taktyki ich użycia. Tego typu przypadek w teorii planowania doświadczeń nosi nazwę planu stałoukładowego.

Ponieważ roprawa ma szerszy charakter i poświęcona jest także ogólnej analizie zagadnień związanych z optymalizacją kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych, celowe jest rozważenie przydatności różnych układów planów doświadczeń^{x/} w przypadku, gdy zakłada się możliwość swobodnego doboru wartości niezależnych od siebie parametrów.

W badaniach dotyczących systemu OPL na szczeblu operacyjnym a priori należy odrzucić możliwość zastosowania planu kompletnego, ponieważ przy dużej ilości parametrów wymagana jest tak wielka ilość układów doświadczeń, że przy istniejących obecnie mocach obliczeniowych EMC, przekracza to możliwości praktycznej realizacji.

Niewielka jest także użyteczność planów monoselekcyjnych. Wynika to przede wszystkim ze złożoności systemu OPL, nie można go bowiem uznać za obiekt izolowany a między wielkościami wejściowymi niewątpliwie występują liczne współdziałania. Prowadzenie eksperymentów w oparciu o plan monoselekcyjny niesie więc ze sobą znaczne ryzyko wyciągnięcia błędnych wniosków /patrz rys. III.4.1.1./ w podrozdziale III.4.1.2/, a stosowanie planu wielokrotnego znacznie zwiększa ilość układów planu, bez gwarancji uzyskania dobrych wyników. Dlatego za korzystniejsze należy uznać stosowanie nowoczesniejszych planów poliselekcyjnych. Stosowanie planu monoselekcyjnego można uznać za celowe w dwóch przypadkach:

- jeśli realizator badań jeszcze przed pomiarami wie, że wartości centralne będą zarazem wartościami zapewniającymi osiągnięcie stanu optymalnego, a badania prowadzi jedynie w celu określenia odpowiednich wartości wielkości wyjściowych;
- jeśli realizator badań dąży do uzyskania informacji wstępnej, określającej charakter wpływu poszczególnych wielkości wejściowych na zasadzie, że "lepiej szybko wiedzieć, że $2 \times 2 \approx 5$, niż nie wiedzieć nic".

Wśród planów poliselekcyjnych plan frakcyjny pociąga małą ilość układów planu oraz niezależnością ocen współczynników wielomianu aproksymującego. Istotne jest jednak, że zakłada się w nim liniową funkcję obiektu badań, co wobec braku danych o systemie, przy jednoczesnym przewidywaniu złożonego, wieloczynnikowego związku funk-

^{x/} Ogólnoteoretyczne aspekty planowania doświadczeń przedstawiono w podrozdz. III.4.

cyjnego o licznych współdziałaniach między wielkościami wejściowymi, znacznie ogranicza użyteczność tej metody.

Za korzystne i celowe należy uznać wybranie takiego rodzaju planu, który zapewnia niezależność ocen współczynników wielomianu aproksymującego /po to by móc "dokładać" i "odejmować" wielkości wejściowe/ oraz możliwość prowadzenia badań w sposób krokowy tzn. stosowanie "przymiarki" do liniowej funkcji obiektu i ewentualne niekłopotliwe "rozwińcie" do funkcji nieliniowej. Cechy te mają plany ortogonalne i rotalne /rotatabilne/. W planach ortogonalnych cechą ujemną jest niestabilna ocena niedokładności, natomiast plany rotalne mają zwiększoną liczbę układów w centrum planu. Biorąc pod uwagę fakt, że plany optymalne mają niską efektywność, należy uznać, że plany z grupy ortogonalnych lub rotalnych są obecnie najkorzystniejsze do badań systemowych.

Za względu na złożony charakter zjawisk i procesów oraz dużą liczbę czynników wejściowych, kompleksowe badania dotyczące funkcjonowania systemu OPL podczas odpięcia nalotów nieprzyjaciela powietrznego powinny być prowadzone w dwóch etapach. Pierwszy etap przeznaczony winien być dla eliminacji czynników o mniejszym znaczeniu dla działania systemu. Największą przydatność w tym zakresie mają plany randomizacyjne. Drugi etap to badania właściwe, związane z pozostałymi istotnymi czynnikami wejściowymi. Jak już wspomniano, najwyższą użyteczność na tym etapie badań mają plany ortogonalne i rotalne.

Kompleksowe badania systemu OPL wymagają przy tym tworzenia dla tego celu interdyscyplinarnych zespołów badawczych, dysponujących odpowiednimi możliwościami w dostatecznie długim okresie czasu.

Wśród istotnych zagadnień o charakterze metodologicznym, związanych z badaniami prowadzonymi w pracy, omówienia wymagają jeszcze dwa istotne:

- ocena wiarygodności rezultatów;
- zasady porównywania eksperymentów.

Wiarygodność wyników uzyskiwanych w trakcie modelowania ocenia się zgodnie z zasadami przedstawionymi w rozdziale III /podrozdz. III.3/.

Opracowano specjalny program /OP05/, który w pełni realizuje przedstawione tam zasady. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na zbyt małą moc obliczeniową i niewielki resurs czasu na EMC, ograniczona jest możliwość powtórzenia eksperymentów, w związku z tym wymagania dotyczące poziomu wiarygodności /istotności/ oraz dopuszczalnego po-

ziomu błędu nie mogą być zbyt wysokie. Dla potrzeb porównywania eksperymentów, za wystarczające uznano rezultaty uzyskiwane w związku z oceną wiarygodności, to jest wartości średnie i związane z nimi przedziały ufności. Uwagi dotyczące ograniczenia wymagań na dokładność rezultatów, wynikające z ograniczonych zasobów EMC, należy odnieść w związku z tym także do zagadnień związanych z porównywaniem eksperymentów. Sytuacja jest tutaj jednak o tyle korzystna, że jak to widać z załączonych do pracy wyników badań, różnice między rezultatami dotyczącymi różnych wariantów rozwiązań systemowych są znaczne i jednoznaczny jest przy tym charakter tych zmian. Dlatego mimo istotnego dopuszczalnego poziomu błędu przy oszacowaniach ilościowych, niewielkie jest ryzyko popełnienia błędu we wnioskach o charakterze jakościowym. Wystarcza to więc do prowadzenia badań w założonym zakresie.

IV.4. Badania systemu

Badania systemu OPL wojsk operacyjnych podczas odpierania nalo-
tów ŚNP nieprzyjaciela powietrznego prowadzono w oparciu o model
symulacyjny przedstawiony w rozdziale II. Na podstawie tego modelu
przygotowano i zaimplementowano na EMC ODRA-1305 system oprogramo-
wania znany pod kryptonimem POSTĘP-3^{x/}.

Badania polegały na wykonywaniu eksperymentów symulacyjnych, czy-
li komputerowej symulacji procesu walki systemu OPL z ŚNP nieprzy-
jaciela. Dla zapewnienia porównywalności rezultatów, we wszystkich
eksperymentach przyjęto jednakowe warunki bojowe. Tło operacyjno-
taktyczne, skład i ugrupowanie wojsk OPL i LM, organizację rozpo-
znania i dowodzenia, skład, zamiar bojowy i parametry przestrzenno-
czasowe nalotu oraz inne dane charakteryzujące sytuację bojową,
określono na bazie ćwiczenia LATO-82, zgodnie z założeniami przed-
stawionymi w podrozdziale IV.1. Jako podstawę do badań przyjęto
cztery warianty rozwiązań systemowych prezentowane w podrozdzia-
le IV.2.

x/ Wytworzono dwie wersje oprogramowania przygotowane do eksploata-
cji na różnych zestawach EMC:

- wersję pierwotną przeznaczoną do użytkowania na ODRZE-1305 z
PAO 64 K słów;
- wersję zmodyfikowaną przygotowaną na zestaw EMC ODRA-1305 z
PAO 256 K słów.

Wersja zmodyfikowana wykonuje się ok. 2,5 raza szybciej.
Ogólny opis systemu oprogramowania przedstawiono w podrozdzia-
le II.6.

Podczas badań zaobserwowano znaczny wpływ zakłóceń radioelektrycznych na działalność bojową systemu OPL, zwłaszcza w odniesieniu do skuteczności kierowania. Aby uniknąć przypadkowych ocen i rozszerzyć podstawy do wnioskowania, postanowiono w ramach określonej jednolitej sytuacji bojowej wyróżnić przypadki zróżnicowane ze względu na intensywność oddziaływania zakłóceń na możliwości bojowe środków ogniowych. Zvariantowano więc parametry określające wpływ zakłóceń na możliwości wykrywania i śledzenia celów przez organiczne RSWP pododdziałów ogniowych. Wykonano to w ten sposób, że prawdopodobieństwo zaistnienia oddziaływania zakłócającego przyjęto we wszystkich przypadkach jednakowe i określono na poziomie 0,9. Zróżnicowano natomiast intensywność oddziaływania zakłócającego wyrażoną współczynnikami w^{ZZW} , w^{ZBW} zmniejszenia prawdopodobieństw p^{ZW} , p^{BW} wykrycia i śledzenia celów przez pododdziały ogniowe. Wyróżniono w tym celu trzy przypadki: A, B, C, z różnymi wartościami współczynników w^{ZZW} , w^{ZBW} . Jako niezmiennie przyjęto natomiast sposób i zakres oddziaływania zakłóceń na stacje radiolokacyjne powszechnego systemu rozpoznania.^{x/} Wszelkie kalkulacje w tym zakresie wykonano na podstawie danych z ćwiczenia LATO-82, zgodnie z metodyką opisaną w podrozdziale II.3 i w załączniku 7. Wartości danych charakteryzujące wymienione przypadki A, B, C przedstawia tabela IV.4.1.

Podstawowym zadaniem podczas badań była obserwacja i analiza zjawisk i procesów związanych z kierowaniem obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego.

Eksperymenty prowadzono w celu określenia wpływu jaki wywiera zastosowanie Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia /PZSD/ na efektywność bojową systemu OPL. Dodatkowym celem była ocena mechanizmów dokonujących się zmian.

Sposób prowadzenia pomiarów i obserwacji podczas eksperymentów wynikał z przyjętych założeń. Konsekwencją przyjęcia w rozdziale I założenia metodologicznego, że podstawą do oceny a zarazem najistotniejszym wskaźnikiem skuteczności działania podsystemu są zmiany efektywności systemu nadrzędnego wynikające z oddziaływania podsystemu, była konieczność wyznaczania globalnych wskaźników efektywności bojowej systemu OPL.

Do tej grupy wskaźników zaliczają się:

x/ RLS w RPW, RSWP szefów OPL ZT, RSWP BRplot, RSWW do, RSWP prplot i RSWP paplot

TABELA IV.4.1.

Symbol i znaczenie danej	Kod typu kanału celowania	Wartości danej w poszczególnych przypadkach		
		A	B	C
P ^{ZW} - prawdopodobieństwo zajęcia zdarzenia polegającego na tym, że cel zostanie wykryty i będzie śledzony przez niezakłócony kanał celowania, pod warunkiem, że dane o celu z sieci wskazywania, powiadomienia lub uprzedzenia, docierają przed przekroczeniem przez ŚNP rubieży ostatecznego postawienia zadania	WOLCHOW		.94	
	NEWA		.94	
	KRUG		.94	
	KUB		.97	
	OSA		.97	
	S-1		.60	
	S-2		.50	
	S-60		.80	
P ^{BW} - prawdopodobieństwo zajęcia zdarzenia polegającego na tym, że cel zostanie wykryty i będzie śledzony przez niezakłócony kanał celowania, pod warunkiem, że pododdział ogniowy samodzielnie poszukuje ŚNP w nakazanym sektorze odpowiedzialności /brak informacji z sieci wskazywania, powiadomienia lub uprzedzenia/	WOLCHOW		.55	
	NEWA		.55	
	KRUG		.35	
	KUB		.60	
	OSA		.55	
	S-1		.37	
	S-2		.30	
	S-60		.35	
W ^{ZZW} - współczynnik określający wpływ zakłóceń na zmniejszenie wartości prawdopodobieństwa wykrycia celu P ^{ZW} , tzn. w przypadku, gdy dostępne są z odpowiednim wyprzedzeniem dane z sieci wskazywania powiadomienia lub uprzedzenia.	WOLCHOW	.40	.25	.40
	NEWA	.40	.25	.40
	KRUG	.55	.30	.55
	KUB	.55	.30	.55
	OSA	.55	.30	.55
	S-1 ^{x/}	.50	.50	.50
	S-2 ^{x/}	.50	.50	.50
	S-60	.57	.30	.57
W ^{ZBW} - współczynnik określający wpływ zakłóceń na zmniejszenie wartości prawdopodobieństwa wykrycia celu P ^{BW} tzn. w przypadku, gdy ŚNP są samodzielnie poszukiwane przez KC w sektorze odpowiedzialności /brak informacji z sieci wskazywania, powiadomienia lub uprzedzenia/	WOLCHOW	.40	.25	.30
	NEWA	.40	.25	.30
	KRUG	.55	.30	.35
	KUB	.55	.30	.35
	OSA	.55	.30	.35
	S-1 ^{x/}	.50	.50	.50
	S-2 ^{x/}	.50	.50	.50
	S-60	.57	.30	.35
ZSU-23-4	.57	.30	.35	
ZU-23-2 ^{x/}	.80	.80	.80	

x/ Zakłócenie atmosferyczne oraz wywołane stosowaniem przez nieprzyjaciela pułapek termicznych.

a/ $\Delta PB^{\dot{S}NP}$ straty potencjału bojowego $\dot{S}NP$ nieprzyjaciela;
 b/ 1 : Q stosunek sił nieprzyjaciela powietrznego i systemu OPL
 wraz z LM;

c/ $S / S^R, S^T$ skuteczność ogniowego oddziaływania systemu OPL,
 mierzona ilością zniszczonych $\dot{S}NP$ nieprzyjaciela;

d/ S^{RID} skuteczność rozpoznania i obiegu informacji o sytuacji
 powietrznej podczas odpięcia nalołów nieprzyjaciela.

Wartości wskaźników a/ ÷ d/ wyznaczano w następujący sposób
 a) $\Delta PB^{\dot{S}NP}$ - straty potencjału bojowego $\dot{S}NP$ nieprzyjaciela
 oznaczono jako różnicę między całkowitym, początkowym potencjałem
 bojowym $\dot{S}NP$ uczestniczących w nalocie - $PB^{\dot{S}NP}$, a tą częścią poten-
 cjału bojowego, którą nieprzyjaciel powietrzny dysponował w rejonie
 ataku i wykorzystywał do obezwładnienia i niszczenia wojsk i
 obiektów - PB^{ZRE}

$$\Delta PB^{\dot{S}NP} = PB^{\dot{S}NP} - PB^{ZRE}$$

Straty potencjału bojowego $\dot{S}NP$ nieprzyjaciela są miarą potencjału
 bojowego systemu OPL. Wartość $\Delta PB^{\dot{S}NP}$ w dalszych obliczeniach
 utożsamiono z potencjałem bojowym systemu OPL:

$$\Delta PB^{\dot{S}NP} = PB^{OPL}$$

a) b/ 1:Q stosunek sił $\dot{S}NP$ nieprzyjaciela powietrznego i syste-
 mu OPL wraz z LM wyznaczano zgodnie z definicją z podrozdziału 1.2
 określając wielkość Q według następującego wzoru:

$$Q = \frac{PB^{OPL} + PB^{KRYT}}{PB^{\dot{S}NP}}$$

gdzie: PB^{KRYT} - potencjał bojowy krytyczny, określono jako ilość po-
 tencjału bojowego, którą powinien dysponować nie-
 przyjaciel w rejonie ataku, aby móc obezwładnić
 obiekty odpowiadające łącznie czterem pułkom zme-
 chanizowanym i dwóm dywizjom artylerii.

a) c/ S - skuteczność ogniowego oddziaływania systemu OPL, wyra-
 żona ilością zniszczonych $\dot{S}NP$ nieprzyjaciela, mierzono dwoma sposo-
 bami. Wynika to z faktu, że model symulacyjny oparto o metodę
 Monte-Carlo i wielkości o charakterze stochastycznym losowano zgod-
 nie z założonym rozkładem prawdopodobieństwa. Wartości uzyskane pod-
 czas eksperymentów symulacyjnych były więc realizacjami zmiennych

losowych. Dla ograniczenia wpływu przypadku na wyniki badań^{x/} wskaźnik skuteczności S określono dwoma sposobami, uzyskując wskaźniki częściowe S^R i S^T

gdzie: S^T - określano jako wartość oczekiwaną ilości zniszczonych ŚNP, wyznaczoną z wszystkich zarejestrowanych podczas eksperymentu zdarzeń "wejście ŚNP w strefę ognia KC" zakończonych ostrzeliwaniem celu:

$$S^T = \sum_{z \in Z^S} P_z^{ZNI}$$

gdzie: Z^S - zbiór zdarzeń zakończonych ostrzeliwaniem ŚNP;

P_z^{ZNI} - prawdopodobieństwo zniszczenia ŚNP określone w z-tym zdarzeniu.

S^R - wyznaczono przez sumowanie zaobserwowanych podczas eksperymentu zdarzeń typu "zniszczenie ŚNP":

$$S^R = \sum_{z \in Z^S} W_z^{ZNI}$$

gdzie:

$$W_z^{ZNI} = \begin{cases} 0, & \text{gdy nie wylosowano faktu zniszczenia ŚNP} \\ /LOS > P_z^{ZNI} / \\ 1, & \text{gdy wylosowano fakt zniszczenia ŚNP w z-tym zdarzeniu} \\ /LOS \leq P_z^{ZNI} / \end{cases}$$

gdzie: S^{RID} skuteczność rozpoznania i obiegu informacji o sytuacji powietrznej podczas odpiernia nalotu nieprzyjaciela powietrznego, określano wg. następującego wzoru:

$$S^{RID} = \frac{S^R}{S^{100}} \cdot 100\%$$

gdzie: S^{100} - teoretyczna skuteczność ogniowego oddziaływania systemu OPL w warunkach 100% skuteczności rozpoznania i obiegu informacji o sytuacji powietrznej tzn. wówczas, gdyby w każdym przypadku "wejście ŚNP w strefę ognia KC" poprzedzone było uzyskaniem danych o celu z sieci wskazywania, powiadamiania lub ostrzegania, przed przekroczeniem przez cel rubieży ostatecznego postawienia zadania dla pododdziału ogniowego. Wartość S^{100} wyznaczono w ten sposób, że w każdym zda-

^{x/} Jak to wyjaśniono w podrozdziale IV.3 ograniczony rezerwa czasu przetwarzania na EMC spowodował, że wykonywano ograniczoną liczbę powtórzeń eksperymentów - dlatego m.in. znacznemu złagodzeniu musiały ulec wymagania na poziom ufności i dopuszczalną stopę błędów.

rzeniu typu "wejście ŚNP w strefę ognia KC" analizowano możliwość prowadzenia ognia^{x/} i po stwierdzeniu, że cel mógłby po wykryciu być ostrzeliwany, odnotowywano wypadkowe prawdopodobieństw:

$$S^{100} = \sum_{z \in Z^0} W_z^D \cdot P_z^{ZW} \cdot P_z^{ZNI}$$

gdzie: Z^0 - zbiór zdarzeń, w których ostrzeliwanie celu jest możliwe;

P_z^{ZW} - prawdopodobieństwo wykrycia i śledzenia celu przez pododdział ogniowy określone w z-tym zdarzeniu przy założeniu, że KC uzyskuje dane o ŚNP z sieci wskazywania, powiadamiania lub ostrzegania, przed przekroczeniem przez cel rubieży ostatecznego postawienia zadania.

Wartości globalnych wskaźników efektywności bojowej uzyskane podczas modelowania symulacyjnego zestawiono na wykresach /rysunki IV.4.2-IV.4.5/.

Globalne wskaźniki efektywności bojowej systemu OPL dopełniono ich rozwinięciem na typy środków ogniowych i wybrane oddziały, ZT i ZO. Kierując się zasadą, że główna uwaga i wysiłek badawczy skupione winny być na szczeblu operacyjnym, postanowiono z najwyższą dokładnością obserwować procesy i zjawiska we frontowych, armijnych i dywizyjnych oddziałach i ZT rakiet przeciwlotniczych KRUG, KUB i OSA.

x/ Zgodnie z modelem przedstawionym w podrozdziale II.2, ostrzeliwanie celu możliwe jest pod warunkiem wykrycia i śledzenia celu wówczas, gdy spełnione są następujące podstawowe warunki:

- KC jest sprawny;
- są rakiety /amunicja/ na stanowisku ogniowym;
- KC nie prowadził dotychczas strzelania, lub od momentu zakończenia poprzedniego strzelania upłynął czas niezbędny do przeniesienia ognia;
- zwalczanie celu nie koliduje ze zwalczaniem innego celu, przydzielonego wcześniej do zwalczania z niemniejszym priorytetem;
- cel jest wskazany do zwalczania lub wchodzi w sektor odpowiedzialności danego pododdziału ogniowego.

W związku z tym wyróżniono 16 grup $/u = \overline{1,16}/$ pododdziałów ogniowych^{x/} i wskaźniki efektywności bojowej wyznaczano oddzielnie dla każdej z nich.

Dla każdej z grup $u = \overline{1,16}$ obserwowano, wyliczano i rejestrowano następujące wskaźniki:

a/ $S_u / S_u^R, S_u^T$ - skuteczność ogniowego oddziaływania mierzona ilością zniszczonych ŚNP nieprzyjaciela, wyznaczano dla każdej z przedstawionych grup $/u = \overline{1,16}/$, podobnie jak globalny wskaźnik S_u dwoma metodami, uzyskując w ten sposób wskaźniki cząstkowe:

S_u^T - wartość oczekiwaną ilości zniszczonych ŚNP przez pododdziały ogniowe u-tej grupy;

S_u^R - ilość wylosowanych "zniszczeń ŚNP" spowodowanych ostrzeliwaniem celów przez pododdziały ogniowe u-tej grupy;

b/ S_u^{STRZ} - ilość strzałów wykonanych do ŚNP nieprzyjaciela przez pododdziały ogniowe u-tej grupy $/u = \overline{1,16}/$.

Wartości tych wskaźników zarejestrowane podczas badań, umieszczono w załącznikach 21 i 22.

Wskaźniki efektywności bojowej systemu OPL charakteryzują ostateczne rezultaty procesu kierowania, nie pozwalają natomiast na ocenę przebiegu samego procesu ani na poznanie mechanizmów powodujących, że zastosowanie PZSD wpływa na przebieg walki systemu OPL z nieprzyjacielem powietrznym. Dlatego utrzymując podział na przedstawione wcześniej grupy pododdziałów ogniowych $/u = \overline{1,16}/$, rejestrowano szereg dodatkowych wskaźników, opisujących procesy związane z kierowaniem obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów ŚNP nieprzyjaciela.

Dla oceny skuteczności systemu OPL istotne znaczenie ma rozróżnienie oddziaływania aktywnych środków OPL na:

u = 1 pododdziały KRUG w 66 BRPlot /frontowa BRPlot/;
u = 2 pododdziały KRUG w 4 prplot /korpuśny prplot 4 KA/NAL//;
u = 3 pododdziały KUB w 60 prplot /armijny prplot 6 A/;
u = 4 pododdziały KUB w 80 prplot /dywizyjny prplot w 25 DPanc/;
u = 5 pododdziały KUB w 74 prplot /armijny prplot 7 A/;
u = 6 pododdziały OSA w dywizyjnych prplot 6 A/71,88,129 prplot/;
u = 7 pododdziały OSA w dywizyjnych prplot 7A/133,90,72 prplot/;
u = 8 pododdziały S-60 w 10 paplot /dywizyjny paplot 10 DPanc/;
u = 9 pododdziały S-1 w 6 A;
u = 10 pododdziały S-1 w 7 A;
u = 11 pododdziały S-2 w 6 A;
u = 12 pododdziały S-2 w 7 A;
u = 13 pododdziały ZSU-23-4 w 6 A;
u = 14 pododdziały ZSU-23-4 w 7 A;
u = 15 pododdziały ZU-23-2 w 6 A;
u = 16 pododdziały ZU-23-2 w 7 A;

- ostrzeliwanie celów przed wykonaniem przez ŚNP ataku na osłabiane wojska i obiekty;

- ostrzeliwanie ŚNP powracających z rejonu wykonywania ataku.

Dlatego wskaźniki związane bezpośrednio z obiegiem informacji o sytuacji powietrznej, wypracowywaniem, przekazywaniem i realizacją decyzji, wyznaczano i przedstawiono w rozbiciu na: zachodzące przed wykonaniem przez ŚNP ataku na wojska i obiekty; oraz realizowane w stosunku do ŚNP powracających z rejonu ataku.

Przyjęto przy tym zasadę obserwacji na poziomie elementarnym, związanym z działaniem pojedynczego pododdziału ogniowego. Dlatego wskaźniki tej grupy wyznaczano na podstawie obserwacji faktów, zaistniałych podczas elementarnych zdarzeń typu "wejście ŚNP w strefę ognia kanału celowania".

W załączonych materiałach prezentujących rezultaty badań zestawiono wartości następujących wskaźników z tej grupy:

a/ I^{DEC} - ilość zdarzeń elementarnych, w których ŚNP wchodzące w strefę ognia pododdziału, były przed przekroczeniem przez ŚNP rubieży ostatecznego postawienia zadania przydzielone do zwalczania przez przełożonego;

b/ $I^{ST/DEC}$ - ilość zdarzeń elementarnych, w których cele przydzielone do zwalczania były ostrzeliwane przez pododdział ogniowy $I^{ST/DEC} \leq I^{DEC}$;

c/ I^{OGR} - ilość zdarzeń elementarnych, w których zwalczanie celu było możliwe, gdyż kolidowałoby z koniecznością ostrzeliwania innego celu, wskazanego do zwalczania przez przełożonego wcześniej lub z wyższym priorytetem;

d/ I^{BDEC} - ilość przypadków, w których do chwili przekroczenia przez ŚNP rubieży ostatecznego postawienia zadania, przełożony nie postawił zadania na zwalczanie celu;

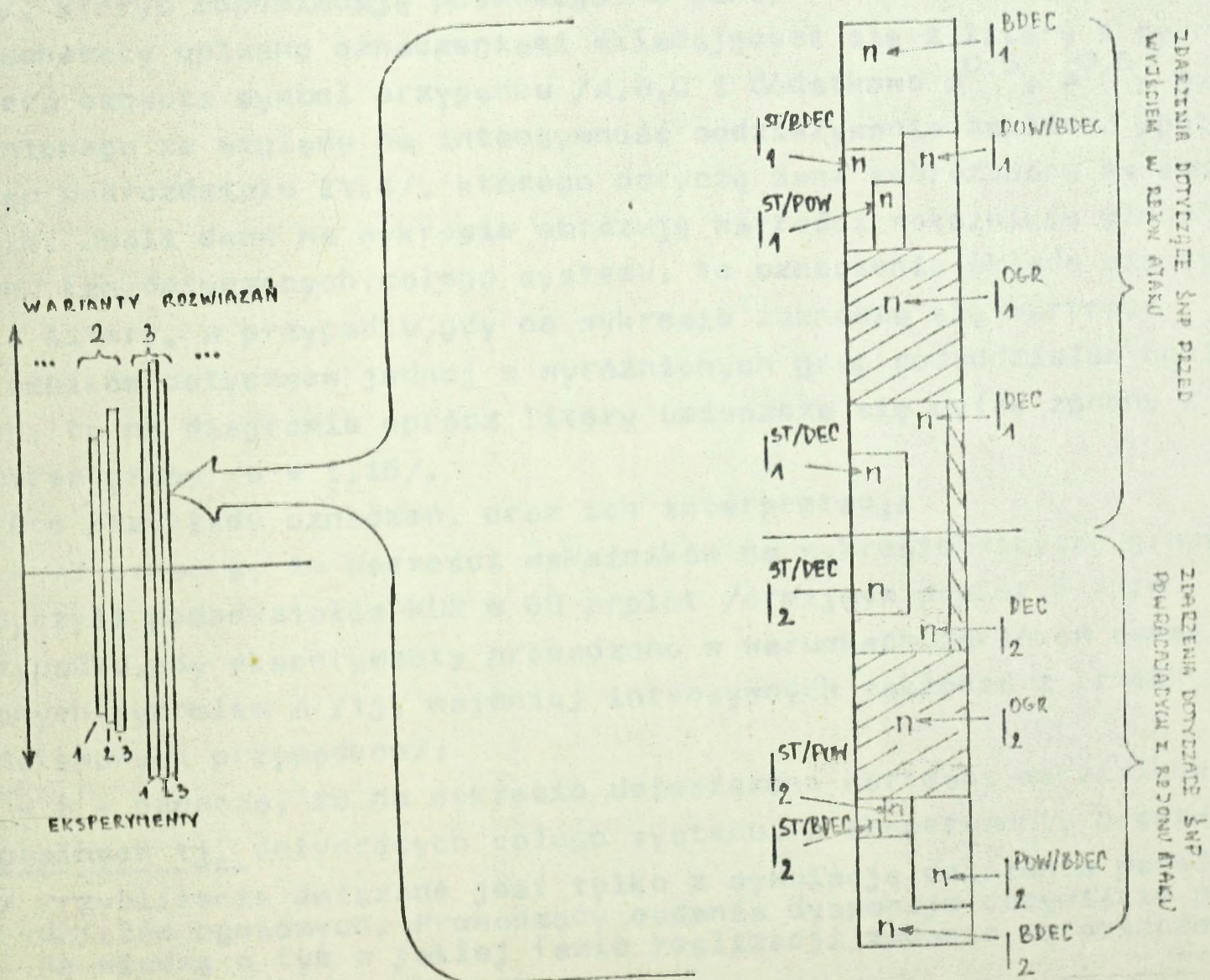
e/ $I^{POW/BDEC}$ - ilość przypadków bez decyzji przełożonego, w których pododdział ogniowy uzyskał przed przekroczeniem przez ŚNP rubieży ostatecznego postawienia zadania informację o celu z sieci powiadamiania lub ostrzegania;

f/ $I^{ST/BDEC}$ - ilość zdarzeń elementarnych, w których cele nie-wskazane do zwalczania były ostrzeliwane przez pododdział ogniowy;

g/ $I^{ST/POW}$ - ilość zakończonych strzelaniem do ŚNP zdarzeń elementarnych z nieokreśloną decyzją przełożonego, w których pododdział ogniowy uzyskał informację o celu z sieci powiadamiania lub ostrzegania.

Wartości wskaźników a/ ÷ g/ przedstawiono w załącznikach 23:27 formie graficznej, na diagramach obrazujących pewne relacje zawierania się. Wysokości odpowiednich prostokątów odpowiadają wartościom wskaźników obrazowanych przez dane pola, umieszczonym w środku prostokątów. Zawieranie się prostokątów wskazuje na fakt, że niektóre zbiory zdarzeń są podzbiorami zbiorów zdarzeń wyższego rzędu.

Wzdłuż osi Y opisano skalę wartości wskaźników, natomiast wzdłuż osi X rozwinięto grupy diagramów w ten sposób, że w grupie prezentowane są rezultaty kolejnych eksperymentów dotyczących tego samego, jednego z czterech wariantów, rozwiązania systemowego. Kolejność umieszczenia grup rezultatów związana jest z numerami wariantów przedstawionymi w podrozdziale IV.2. Formę zobrazowania ze skróconymi opisami objaśnia następujący schemat:



Rys. IV.4.1.

Należy zwrócić uwagę na pewną umowność używanych tutaj określeń przed wyjściem ŚNP w rejon ataku" i "podczas powrotu z rejonu ataku". W działaniach bojowych nie jest możliwe jednoznaczne i całkowite pewne określenie, czy dany cel już wykonał swoje zadanie bojowe. Dlatego w modelu także zastosowano przybliżoną ocenę tego faktu^{x/}. Ocenia się to w ten sposób, że cele wchodzące w strefę ognia kierunku o azymucie różniącym się od założonego kierunku nalotu wartość większą niż $\frac{\pi}{2}$, traktowane są jako powracające z rejonu wykonywania ataku.

Wszystkie rezultaty badań zobrazowano na wykresach. Sposób zapisu wyników we wszystkich materiałach^{xx/} jest jednakowy i następujący:

Wzdłuż osi Y zaznaczono wartości wskaźników zarejestrowane podczas eksperymentów symulacyjnych.

Na osi X zaznaczono, zgodnie z oznaczeniami przyjętymi w podrozdziale IV.2, numery wariantów rozwiązań /1,2,3,4, oraz dodatkowo 5, 6, 7/, którym odpowiadają poszczególne dane.

Schematy opisano oznaczeniami składającymi się z litery i cyfry. Litera oznacza symbol przypadku /A,B,C i dodatkowo A^{0,5}, A^{0,6}/ wyróżnionego ze względu na intensywność oddziaływania zakłóceń /patrz następ podrozdziału IV.4/, którego dotyczą dane zobrazowane na schemacie. Jeśli dane na wykresie obrazują wartości wskaźników globalnych tzn. dotyczących całego systemu, to oznaczenie składa się tylko z litery. W przypadku, gdy na wykresie zaznacza się wartości wskaźników dotyczące jednej z wyróżnionych grup pododdziałów ogniowych, to na diagramie oprócz litery umieszcza się cyfrę zgodną z numerem grupy /u = 1,16/.

Oto przykłady oznaczeń, oraz ich interpretacja:

- A3 oznacza, że wartości wskaźników na wykresie dotyczą grupy u=3, czyli pododdziałów KUB w 60 prplot /armijnym prplot 6 A/, w przypadku, gdy eksperymenty prowadzono w warunkach zakłóceń oznaczonych symbolem A /tj. najmniej intensywnych zakłóceń z trzech podstawowych przypadków/;

- B - oznacza, że na wykresie umieszczono wartości wskaźników globalnych tj. dotyczących całego systemu, a eksperymenty prowa-

x/ Przybliżenie związane jest tylko z symulacją działania pododdziałów ogniowych. Prowadzący badania dysponuje oczywiście pełną wiedzą o tym w jakiej fazie realizacji zadania są poszczególne cele.

xx/ Tzn. na rysunkach IV.4.2-IV.4.5 i w załącznikach 21-27.

zono w warunkach zakłóceń oznaczonych symbolem B /tj. najbardziej intensywne oddziaływanie zakłóceń/.

Dla pełnego zrozumienia zjawisk zachodzących w systemie OPL i jednoznacznego określenia charakteru zmian wynikających z zastosowania Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia, wyróżniono zestaw wariantów kierowania: 1,2,3,4, postanowiono rozszerzyć o trzy dodatkowe:

- wariant 5 - odpowiadający zastosowaniu PZSD i kierowaniu tylko w szczebla SD BRPlot, SD do, SD prplot i SD paplot oraz pominięciu kierowania z PłSD WL i WOPL F, PłSD L i OPL A, oraz PD /PłPD/ OPL T.

- wariant 6 - odpowiadający zastosowaniu rozwiązania utopijnego tj. systemu bez opóźnień czasowych w warunkach całkowitej decentralizacji wysiłku ogniowego. Reguły działania pododdziałów ogniowych są takie same jak w wariantcie 3.

- wariant 7 - odpowiadający zastosowaniu rozwiązania utopijnego tj. systemu bez opóźnień czasowych i najwyższemu spośród dopuszczalnych w danych warunkach zakresowi centralizacji kierowania. Organizacja zwalczania celów jest taka sama jak w wariantcie 4.

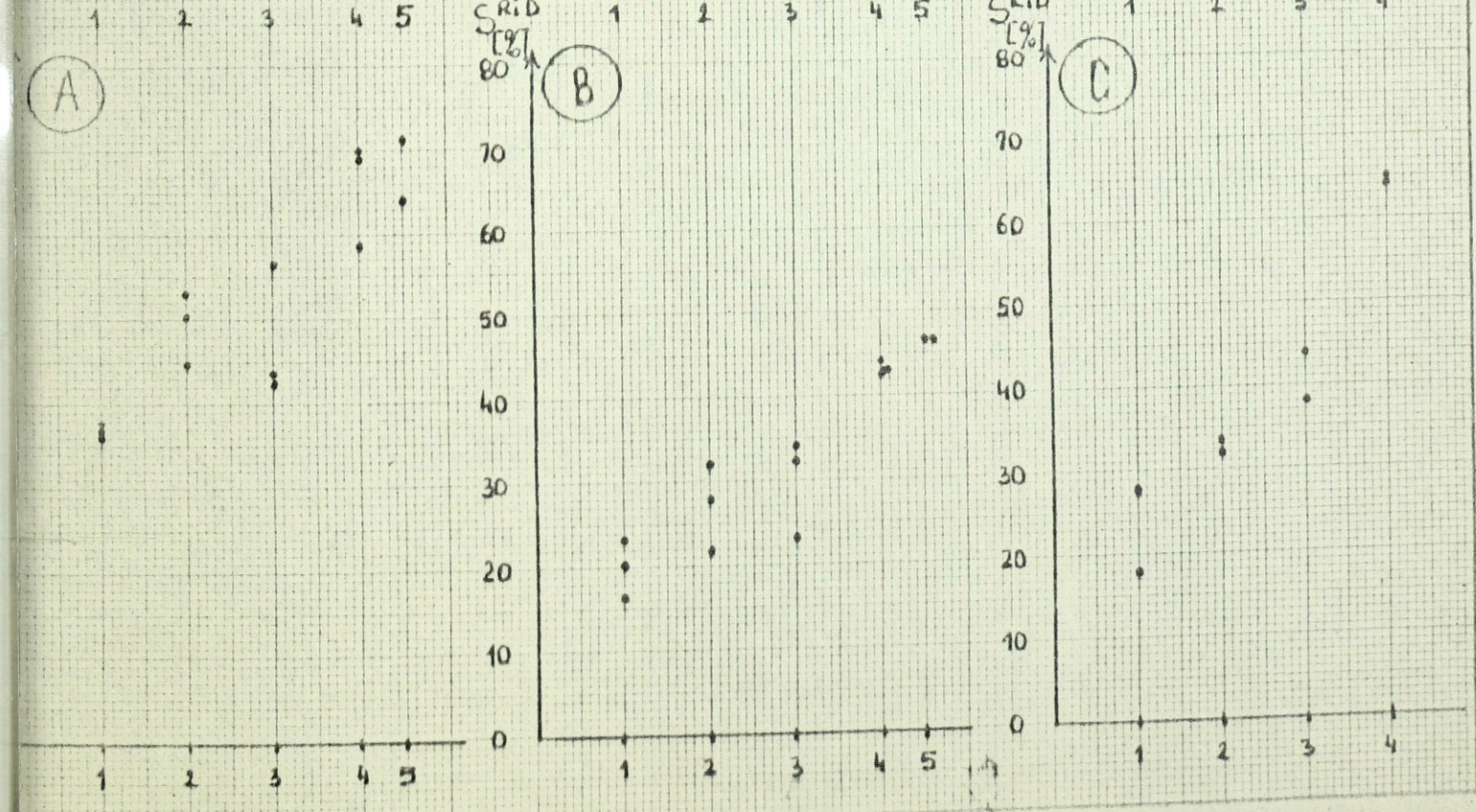
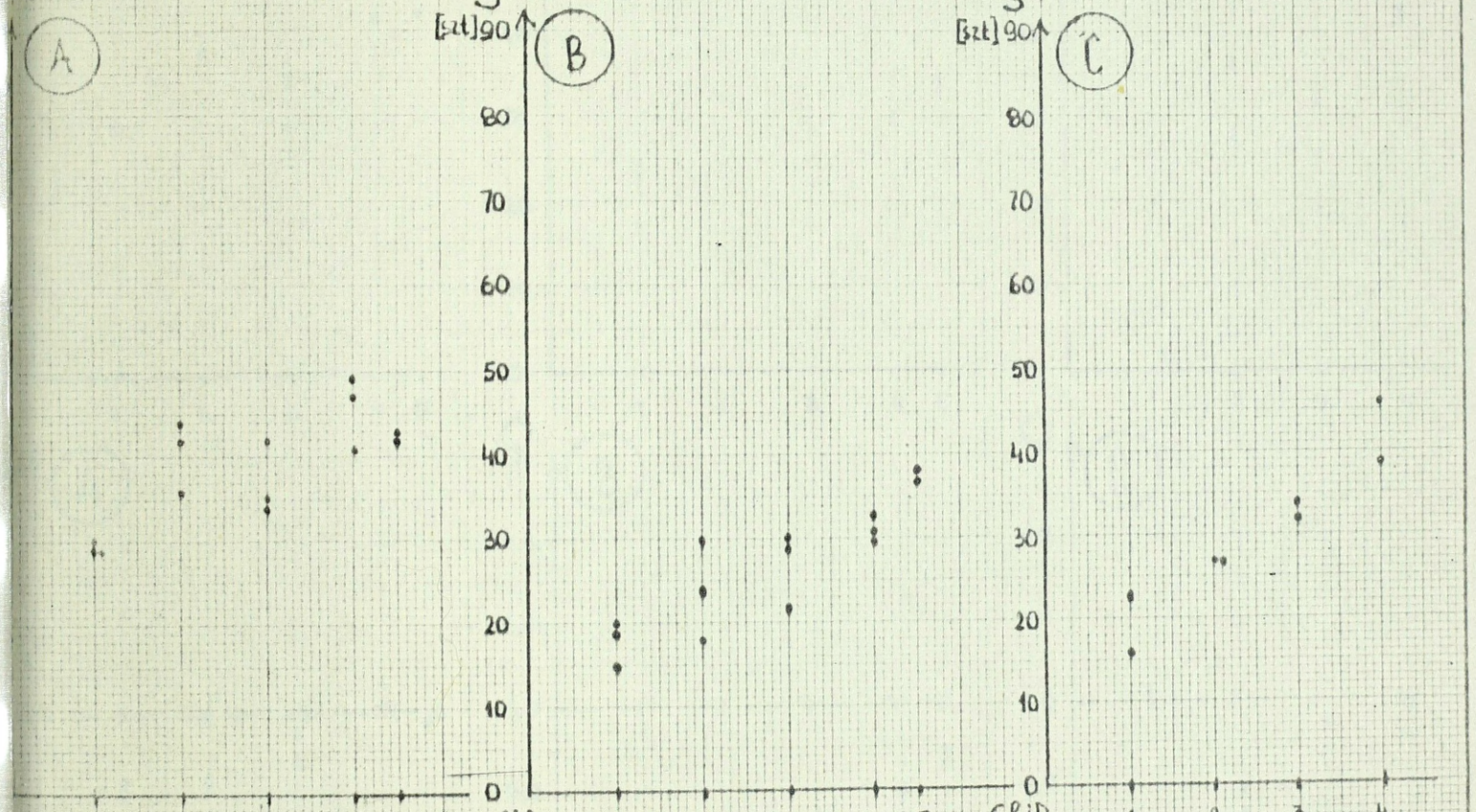
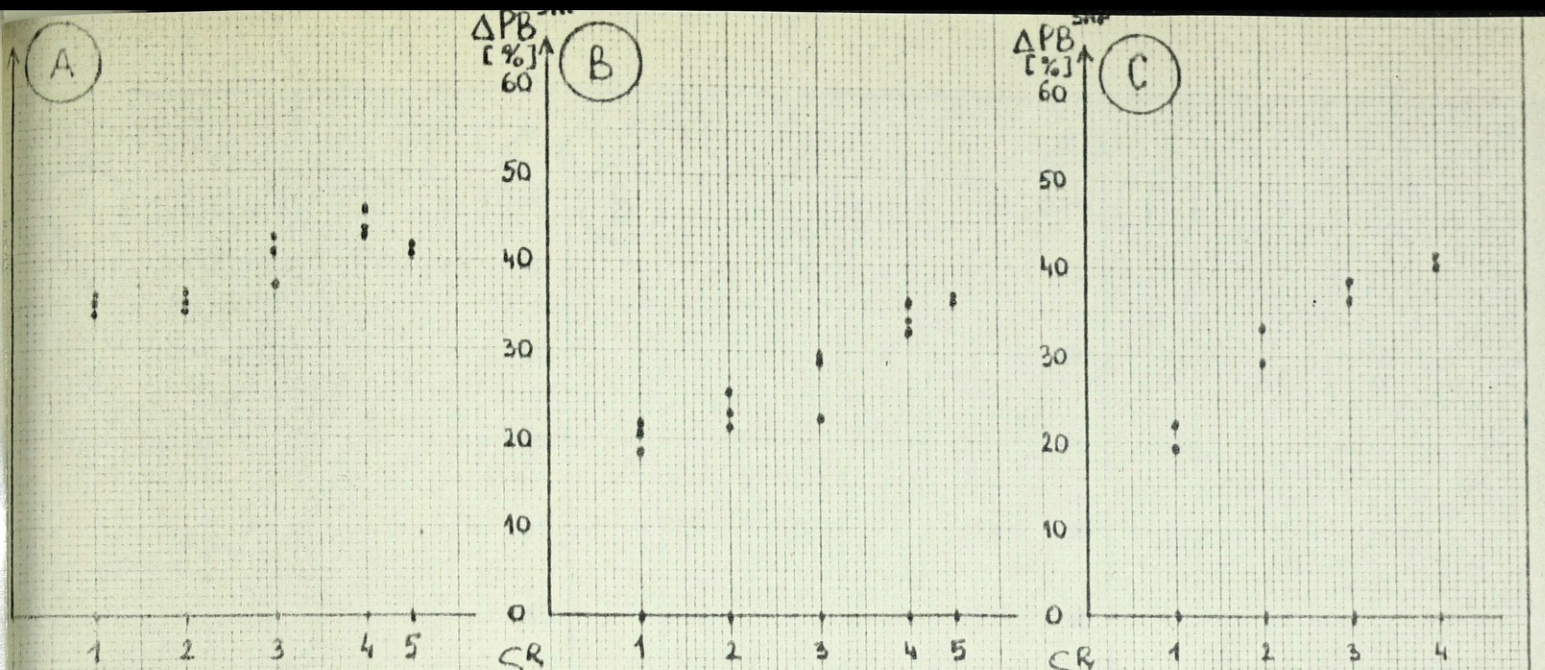
Natomiast uwzględniając potrzebę rozszerzenia zbioru modelowanych sytuacji bojowych, uwzględniono oprócz przypadków A, B, C, dodatkowo następujące:

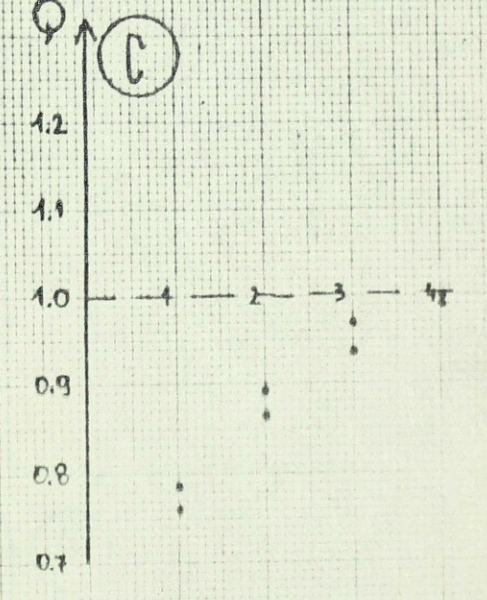
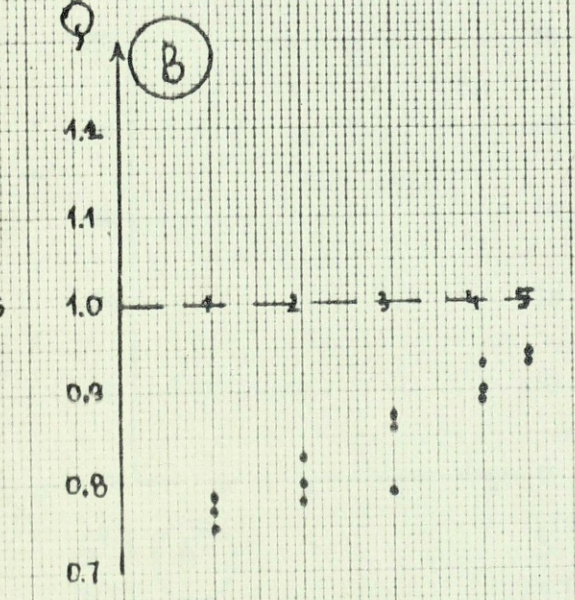
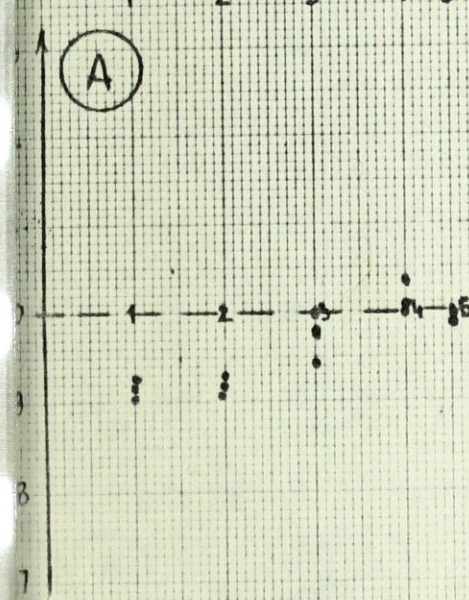
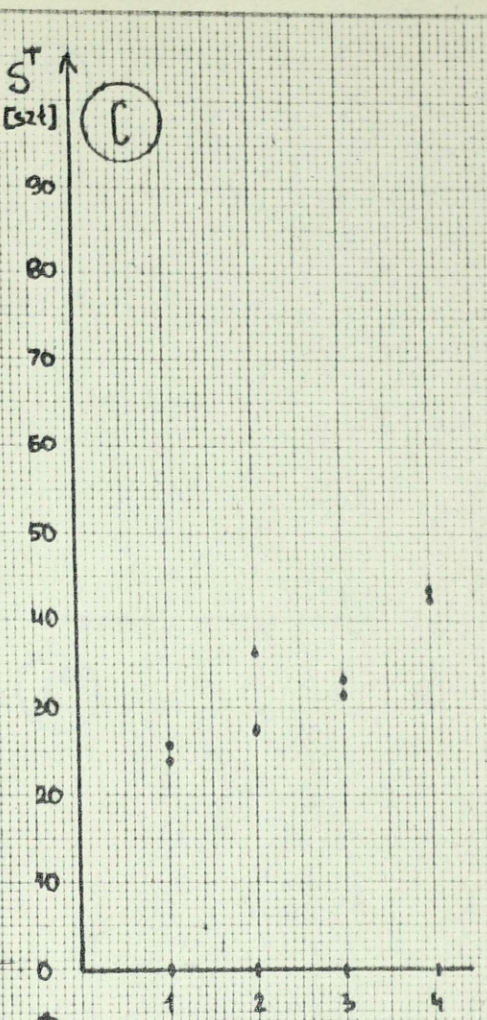
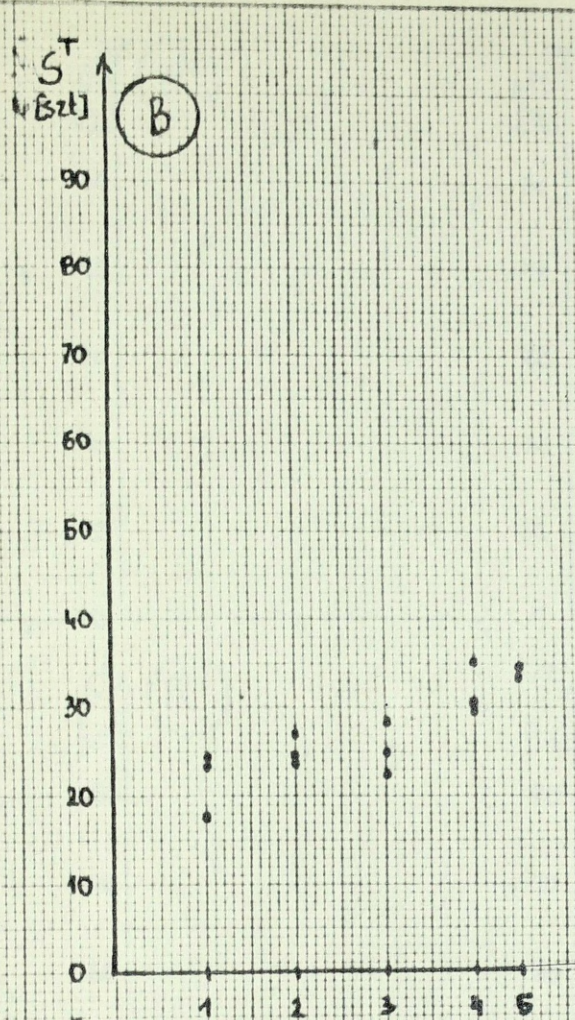
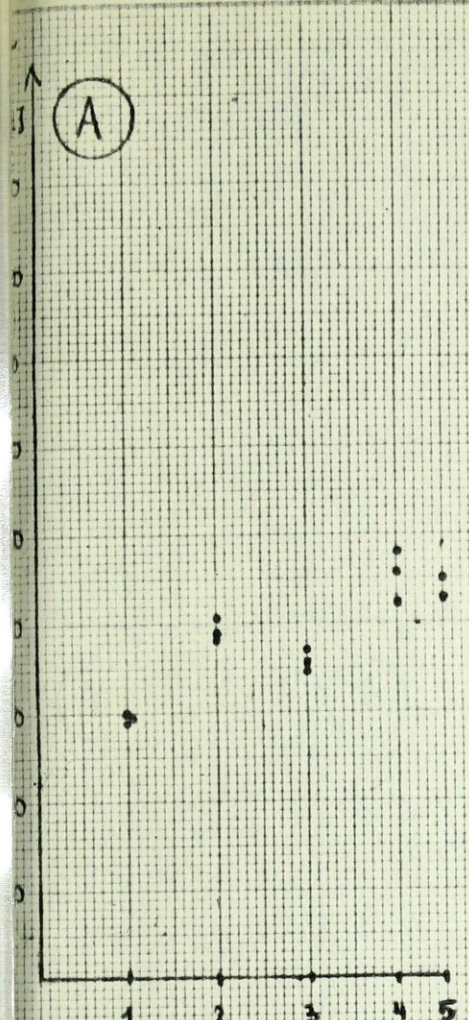
$A^{0,5}$ - gdy prawdopodobieństwo zaistnienia dodatkowego oddziaływania zakłócającego określono na poziomie 0,5, natomiast intensywność wpływu zakłóceń mierzona wartościami współczynników W^{ZBW} i W^{ZZW} odpowiada przypadkowi A;

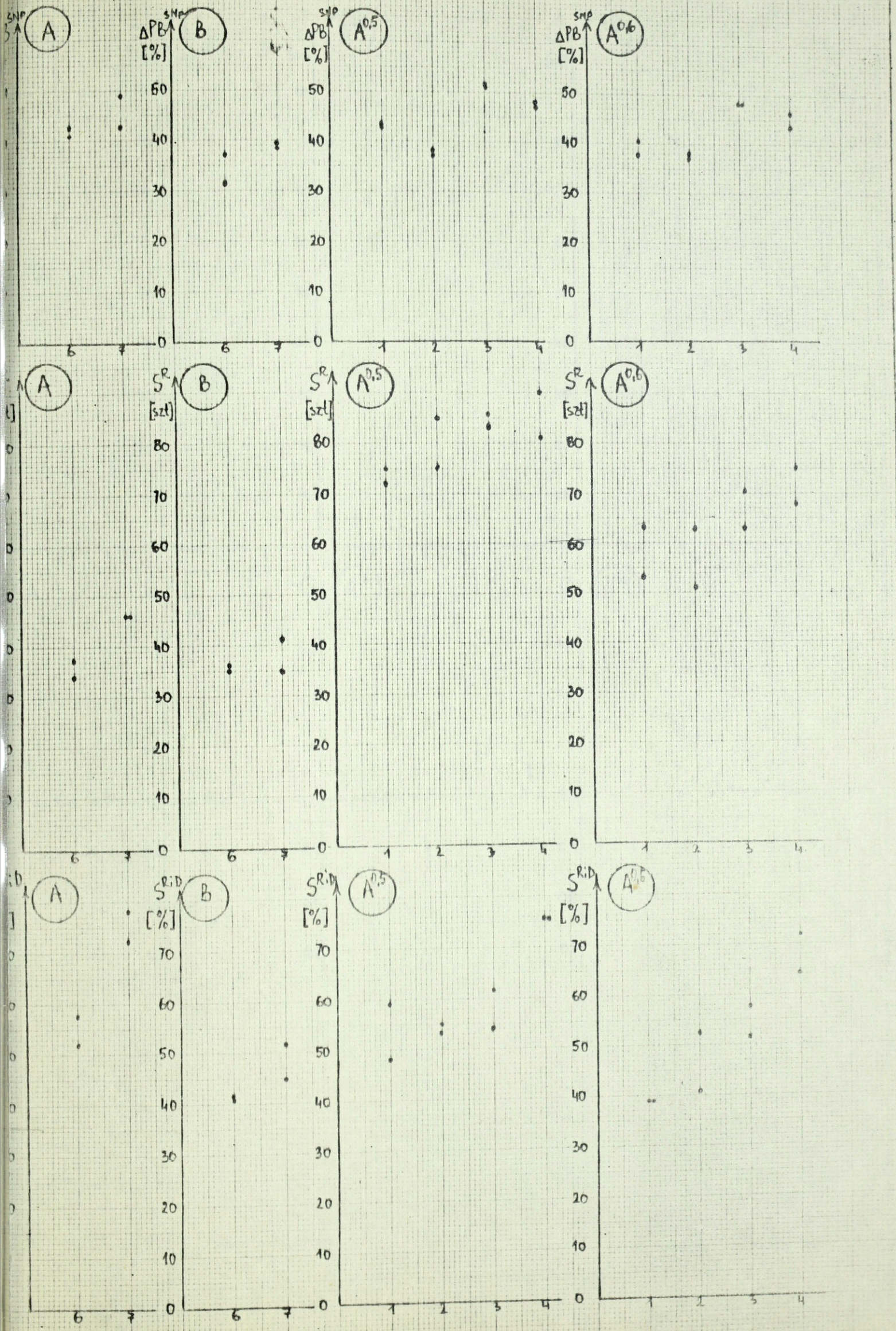
$A^{0,6}$ - gdy prawdopodobieństwo zaistnienia oddziaływania zakłócającego określono na poziomie 0,6, natomiast intensywność wpływu zakłóceń mierzona wartościami współczynników W^{ZBW} i W^{ZZW} również odpowiada przypadkowi A.

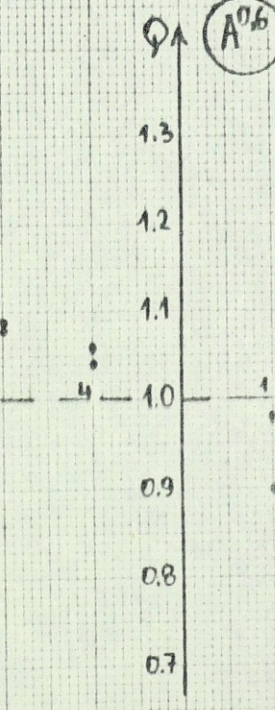
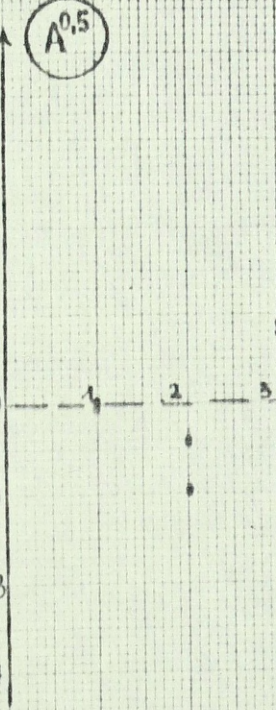
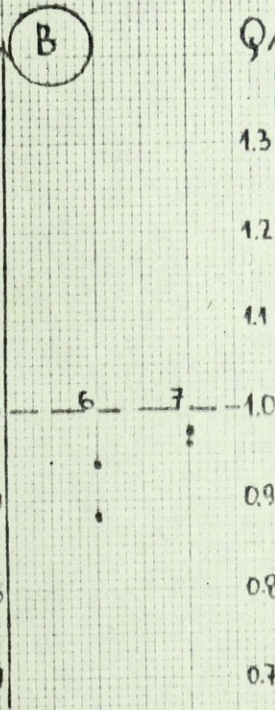
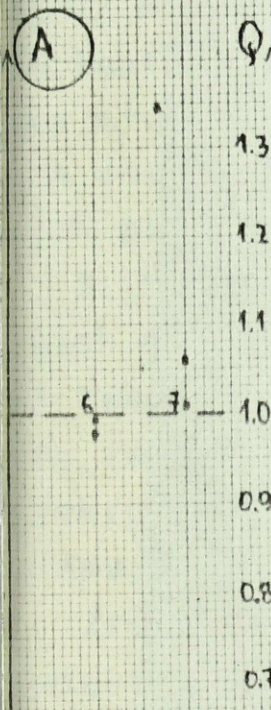
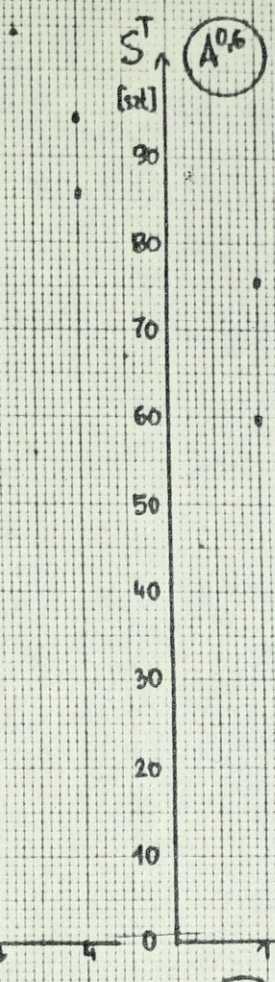
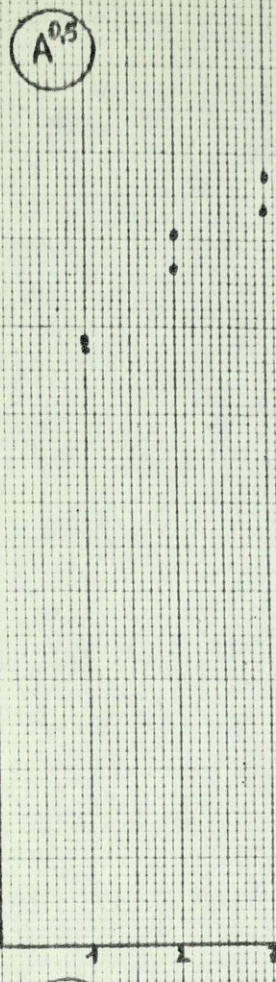
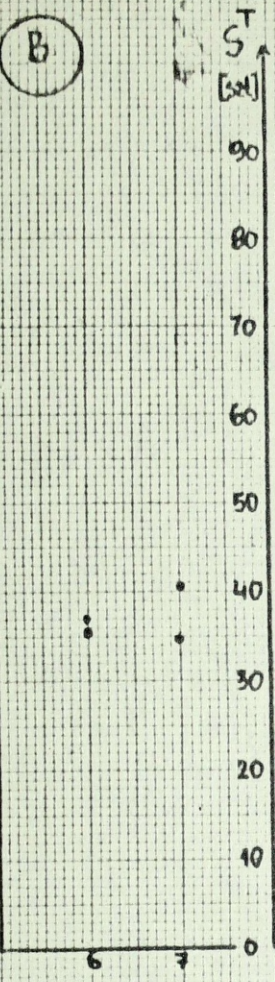
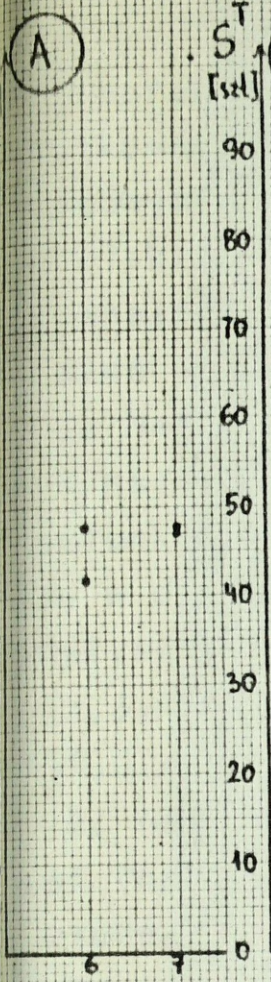
Wartości globalnych wskaźników efektywności bojowej uzyskane w rezultacie modelowania symulacyjnego obrazują wykresy na rysunkach IV.4.2-IV.4.5. Wartości szczegółowych wskaźników efektywności oraz charakteryzujących przebieg procesu kierowania, w poszczególnych grupach pododdziałów ogniowych / $u=1,16$ /, zestawiono w załącznikach 21-27. Dane te^x stały się jedną z istotnych podstaw

/ Programową dokumentację procesu modelowania symulacyjnego wraz ze szczegółowymi danymi wejściowymi umieszczono w oddzielnym opracowaniu.









przy opracowywaniu wniosków zamieszczonych w podrozdziale IV.5. Wnioskowanie poprzedzono analizą ilościowo-jakościową wskaźników liczbowych obrazujących przebieg zjawisk i procesów oraz wskaźników efektywności w trakcie modelowania symulacyjnego. Rezultaty tej analizy można przedstawić m.in. w postaci następujących spostrzeżeń - wniosków cząstkowych:

1. Najwyższe wartości wskaźników efektywności bojowej związane są z wariantem rozwiązania systemowego oznaczonym numerem 4 /tj. w warunkach stosowania PZSD, przy dążeniu do maksymalnego dopuszczalnego w danej sytuacji, stopnia i zakresu centralizacji kierowania/. Spostrzeżenie to dotyczy czterech podstawowych wariantów rozwiązań /1,2,3,4/, we wszystkich uwzględnianych podczas badań przypadkach /A,B,C,A^{0,5}, A^{0,6}/ sytuacji taktyczno-operacyjnych;

2. Wartości wskaźników efektywności bojowej odpowiadające wariantowi rozwiązania systemowego oznaczonego numerem 5 /kierowanie ograniczone do szczebla SD oddziałów i ZT OPL w warunkach zastosowania PZSD/ w niewielkim stopniu^x/ odbiegają od wartości odpowiadających wariantowi 4, natomiast zdecydowanie przewyższają wartości wskaźników efektywności związane z wariantami 1,2,3. Spostrzeżenie powyższe dotyczy jedynie przypadków oznaczonych A,B i C, gdyż tylko w tych przypadkach uwzględniano wariant rozwiązania systemowego 5;

3. W tych przypadkach /A,B/, dla których uwzględniano w badaniach warianty rozwiązań systemowych oznaczone 6 i 7, odpowiadające zastosowaniu tzw. idealnego systemu bez opóźnień czasowych, daje się zauważyć zróżnicowany zakres względnego przyrostu wskaźników efektywności bojowej, wynikającego z zastosowania tego rodzaju systemu.

Zróżnicowanie dotyczy zarówno sytuacji taktyczno-operacyjnej /większe przyrosty w przypadku B niż w przypadku A/, jak i rodzaju obserwowanego wskaźnika /większe przyrosty S^R i S^T , mniejsze przyrosty ΔPB^{SNP} /.

Uwagi powyższe dotyczą w szczególności relacji między wskaźnikami liczbowymi dotyczącymi wariantów odpowiadających sobie ze względu na zakres centralizacji kierowania /tj. 3 i 6, oraz 4 i 7/ badanych w przypadkach A i B. I tak np. w przypadku A przyrost wartości ΔPB^{SNP} między wariantami 3 i 6 wynosi ok. 2,5%, a między

x/ Występujące różnice nie wykraczają poza zakres dopuszczalnego odchylenia /przedziału ufności/ wynikającego ze stochastycznego charakteru modelowanych procesów i związanych z nimi wskaźników liczbowych.

wariantami 4 i 7 wynosi ok. 4%. Natomiast w przypadku B przyrosty ΔPB^{SNP} wynoszą odpowiednio: między wariantami 3 i 6 ok. 27%, między wariantami 4 i 7 ok. 20%. Inne relacje uzyska się przy porównaniu zmian wartości innego wskaźnika np. S^T .

W przypadku A przyrosty S^T wynoszą: między wariantami 3 i 6 ok. 15%, a między wariantami 4 i 7 ok. 7%. W przypadku B różnice między wartościami S^T są następujące: między wariantami 3 i 6 ok. 40%, między wariantami 4 i 7 ok. 30%.

4. Najczulszymi wskaźnikami obrazującymi przyrost globalnej efektywności systemu OPL wynikający z zastosowania automatyzacji w procesie kierowania, są "wewnętrzne" wskaźniki sprawności dowodzenia i obiegu informacji o sytuacji powietrznej, takie jak S^{R1D} , oraz nie wyznaczony bezpośrednio wskaźnik

$$\frac{IDEC + IOGR + IPOW/BDEC}{IDEC + IOGR + IBDEC}$$

$$IDEC + IOGR + IBDEC$$

Wzrostowi ich wartości nie w pełni odpowiada przyrost wartości innych wskaźników. I tak np. w przypadku A przyrosty wartości między wariantami 2 i 4 wynoszą: dla wskaźnika S^{R1D} ok. 33%, dla wskaźnika ΔPB^{SNP} ok. 26%, dla wskaźnika S^T ok. 15%. Podobnie jest w przypadku B, analogiczne przyrosty wartości wskaźników między wariantami 2 i 4 wynoszą: dla S^{R1D} ok. 59%, dla ΔPB^{SNP} ok. 48%, dla S^T ok. 28%.

Wskazane tutaj zjawisko świadczy m.in. o tym, że na drodze do wzrostu efektywności bojowej systemu stoją oprócz niedoskonałości procesu kierowania również inne czynniki ograniczające.

5. Wzrost wartości wskaźników efektywności bojowej wynikający ze stosowania środków automatyzacji w procesie kierowania /zauważalny np. przez porównywanie wariantów 1 i 3, lub 2 i 4/ ma zróżnicowany zakres, wyraźnie uzależniony od sytuacji taktyczno-operacyjnej /tzn. inny w każdym z przypadków: A, B, C, $A^{0,5}$, $A^{0,6}$ /. Najwyższe są względne /tj. odniesione do wartości początkowych i wyrażone w procentach/ przyrosty wskaźników efektywności w przypadkach oznaczonych B i C, odpowiadających najsilniejszym zakłóceniom radioelektronicznym stosowanym przez nieprzyjaciela. Najniższe wartości odpowiednich różnic zauważa się w przypadkach $A^{0,5}$, $A^{0,6}$, w których uwzględniono najsłabsze warianty zakłóceń.

Przykładowe przyrosty wartości wskaźnika ΔPB^{SNP} między wariantami 1 i 3 wynoszą:

przypadku $A^{0,5}$ ok. 12,5%, w przypadku A ok. 13%, w przypadku B ok. 34%. Przyrosty ΔPB^{SNP} między wariantami 2 i 4 wynoszą odpowiednio: w przypadku $A^{0,5}$ ok. 25%, w przypadku A ok. 26%, w przypadku B ok. 47%.

Przedstawiona wyżej reguła nie jest tak wyraźna w przypadku gdy obserwuje się zmiany wartości innych wskaźników np. S^T lub S^R .

Przykładowe zestawienie przyrostów wartości tych wskaźników przedstawia tabela IV.4.2.

TABELA IV.4.2.

	Wskaźnik S^T			Wskaźnik S^R		
	Przy- dek $A^{0,5}$	Przy- dek A	Przy- dek B	Przy- dek $A^{0,5}$	Przy- dek A	Przy- dek B
Przyrost wartości wskaźnika między wariantami 1 i 3	ok. 24%	ok. 32%	ok. 15%	ok. 25%	ok. 25%	ok. 50%
Przyrost wartości wskaźnika między wariantami 2 i 4	ok. 15%	ok. 27%	ok. 24%	ok. 7%	ok. 12%	ok. 31%

6. Przyrosty wartości wskaźników efektywności bojowej wynikające ze zmiany organizacji kierowania, polegającej na wzroście stopnia i zakresu centralizacji /zauważalne przez porównywanie wariantów 1 i 2, lub 3 i 4/, mają również zróżnicowany charakter. Zróżnicowanie można w tym przypadku rozpatrywać w dwóch płaszczyznach:

a/ większy jest przyrost wartości wskaźników efektywności między wariantami 3 i 4 /tj. przy stosowaniu PZSD/, niż między wariantami 1 i 2/tj. w systemie planszeto-fonicznym/. Przykładowo w przypadku A w zakresie wskaźnika ΔPB^{SNP} : między wariantami 1 i 2 brak wzrostu, między wariantami 3 i 4 wzrost wynosi ok. 10%.

Podobnie jest ze wskaźnikiem S^T np. w przypadku B. Między wariantami 1 i 2 występuje przyrost o 17%, a między wariantami 3 i 4 przyrost o 27%. Wskazuje to na potwierdzenie tezy, że możliwości realizowania funkcji kierowania w systemie planszeto-fonicznym są bar-

zo ograniczone. Uwagi powyższe można uzupełnić następującą uwagą. Różnicząc wartości wskaźników szczególnie charakteryzujących przebieg zjawisk i procesów /patrz załączniki 23-27/, stwierdzamy, że we wszystkich przypadkach, w wariancie 4 zachodzi wyraźny wzrost wartości wskaźnika $I_1^{DEC} + I_2^{DEC}$ w stosunku do wartości tego wskaźnika w wariancie 2. Wzrost ten jest bardzo wyraźny także w zakresie samego wskaźnika I_1^{DEC} , co świadczy nie tylko o wzroście możliwości realizowania funkcji kierowania, ale i o przesunięciu ich "do przodu" w czasie i przestrzeni.

b/ Ogólna zasada wymieniona we wniosku 5, o związku wartości przyrostów wskaźników efektywności z sytuacją taktyczno-operacyjną, nie dotyczy przyrostów wynikających ze zwiększenia stopnia i zakresu centralizacji kierowania. Relacji wiążącej wartości tych przyrostów z intensywnością zakłóceń radioelektronicznych nie można przedstawić w postaci prostej zależności liniowej. Dla potwierdzenia tej tezy zestawiono w tabeli IV.4.3. przykładowe przyrosty wartości wskaźników ΔPB i S^T w przypadkach A, B i C.

TABELA IV.4.3.

	Wskaźnik ΔPB^{SNP}			Wskaźnik S^T		
	Przy- dek A	Przy- dek B	Przy- dek C	Przy- dek A	Przy- dek B	Przy- dek C
Przyrost wartości wskaźnika między wariantami 1 i 2	ok. 17%	ok. 14%	ok. 51%	ok. 32%	ok. 16%	ok. 28%
Przyrost wartości wskaźnika między wariantami 3 i 4	ok. 27%	ok. 25%	ok. 8%	ok. 27%	ok. 27%	ok. 32%

W zakresie zmian wartości wskaźnika ΔPB^{SNP} , częściowym wyjaśnieniem zaznaczonego tutaj zjawiska jest spostrzeżenie zawarte we wniosku 9, że znaczna część przyrostu skuteczności rażenia SNP po podniesieniu stopnia i zakresu centralizacji, jest rezultatem oddziaływania na cele powracające już z rejonów wykonywania ataku.

7. Zakres zmian wartości poszczególnych wskaźników efektywności bojowej, związanych ze zmianami w procesie kierowania, nie jest jednolity. Największa jest dynamika zmian wartości wskaźnika S^{RID} . Wartości pozostałych wskaźników zmieniają się w nie mniejszym zakresie. Częściowym potwierdzeniem tej tezy są relacje między danymi przytoczonymi we wniosku 4, oraz w tablicach IV.4.2 i IV.4.3.

8. Zmiany wartości wskaźników efektywności bojowej mają wyraźny i jednoznaczny charakter jedynie w skali globalnej tzn. w odniesieniu do całego systemu OPL. Obserwowane w skali cząstkowej np. odniesione do grupy pododdziałów ogniowych $/u = 1,16/$, są często przypadkowe i nieokreślone. Spostrzeżenie to potwierdza tezę o konieczności kompleksowego modelowania działań bojowych w skali całego systemu OPL.

9. W przypadkach $A^{0,5}$ i $A^{0,6}$ wskaźnik ΔPB^{SNP} obrazujący straty potencjału bojowego SNP , wyznaczany przy modelowaniu wariantów 1 i 2 dotyczących systemu planszeto-fonicznego, zmienia się w sposób nietypowy. W odróżnieniu od innych przypadków $/A, B$ i $C/$, przy przejściu od wariantu 1 do wariantu 2 nie występuje wzrost wartości wskaźnika ΔPB^{SNP} , a w przypadku $A^{0,5}$ zachodzi nawet jego zmniejszenie. Obserwację tę można połączyć z analizą wskaźników szczegółowo charakteryzujących przebieg zjawisk i procesów w tych przypadkach $/patrz załączniki 26 i 27/$. Otóż w wariantach 2 sprawność realizacji decyzji wyrażona wartościami wskaźnika $\frac{I^{ST/DEC}}{I^{DEC}}$ jest znaczna. Jednocześnie możliwości wskazywania celów do zwalczania, przed przekroczeniem przez nie rubieży wykonania ataku $/mierzone wartością wskaźnika I_1^{DEC} /, są niewielkie. W tej sytuacji dążenie do wzrostu stopnia i zakresu centralizacji kierowania powoduje, że pododdziały ogniowe obligowane do rażenia w pierwszej kolejności celów wskazywanych do zwalczania przez przełożonych zajęte są w znacznym stopniu ostrzeliwaniem celów powracających już z rejonu wykonywania ataku $/duże są wartości wskaźnika $I_2^{ST/DEC}$ / i mają ograniczone możliwości oddziaływania na te cele, które jeszcze nie atakowały wojsk i obiektów.$$

Należy podkreślić, że w tych przypadkach zmniejszenie wartości $/przy przejściu z wariantu 1 na wariant 2/$ dotyczy tylko wskaźnika ΔPB^{SNP} . Wartości pozostałych wskaźników efektywności bojowej w tym przypadku, zgodnie z ogólnymi regułami, zwiększają się.

10. W warunkach znacznej intensywności zakłóceń, tj. w przypadkach B i C, niewielka jest sprawność realizacji decyzji przełożonych. Można to zaobserwować na schematach przedstawionych w załącznikach 23-27, na podstawie wartości wskaźnika $\frac{I_{ST/DEC}}{I_{DEC}}$. Należy przy tym podkreślić, że przełożony może zareagować /np. przydzieleniem danego celu do zwalczania innemu podwładnemu/ na niewykonanie zadania przez podwładnego, dopiero po uzyskaniu tzw. informacji zwrotnej. Nie dysponując tą informacją dany cel traktuje jako przydzielony już do zwalczania i taki obraz sytuacji może też przekazywać innym podwładnym. Właściwy i sprawny obieg informacji zwrotnej ma więc w tych warunkach szczególne znaczenie.

11. Zmiany wartości wskaźników efektywności bojowej, związane z zastosowaniem PZSD w procesie kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych /obserwowane przez porównywanie wariantów 1 i 3 oraz 2 i 4/, mają zróżnicowany zakres w poszczególnych grupach pododdziałów ogniowych /patrz załączniki 21-22/.

Przykładowo:

- najwyraźniejsze zmiany i najwyższe przyrosty wartości wskaźników efektywności występują w następujących grupach:

u = 3 60 prplot /armijny prplot KUB w 6 A/;

u = 5 74 prplot /armijny prplot KUB w 7 A/;

u = 6 71,88 i 129 prplot /dywizyjne prplot OSA w ZT 6 A/;

- najniższe przyrosty wartości wskaźników efektywności zarejestrowano w grupach:

u = 1 66 BRPlot /frontowa BRPlot KRUG/;

u = 2 4 prplot /korpuśny prplot KRUG w 4 KA/NAL//;

u = 4 80 prplot /dywizyjny prplot KUB w 25 DPanc - 6 A/.

12. Wskaźniki efektywności bojowej rejestrowane podczas badań mają ilościowy charakter. Dzięki temu rezultaty takich badań można wykorzystywać w szerokim zakresie, np. w połączeniu z analizą ekonomiczną porównywać można efektywność bojową różnych przedsięwzięć modernizacyjnych wymagających zbliżonych nakładów finansowych. Zgodnie z uwagami zaznaczonymi we wstępie i w I rozdziale pracy, zagadnienia ekonomiczne nie są w rozprawie rozwijane. Dlatego w tym miejscu dla zademonstrowania potencjalnych możliwości badawczych związanych z metodą opartą o symulację na EMC, prezentuje się porównania o odmiennym charakterze. Otóż w określonej sytuacji operacyjno-taktycznej /odwzorowywanej w trakcie badań na podstawie ćwiczenia LATO-82/, można porównywać przyrosty wartości wskaźników efek-

efektywności bojowej, wynikające z zastosowania PZSD w procesie kierowania obroną przeciwlotniczą, ze wskaźnikami charakteryzującymi efektywność bojową określonych grup pododdziałów ogniowych. Oto przykłady takich zestawień:

- w przypadku A przyrost wartości S^R związany z zastosowaniem PZSD /między wariantami 2 i 4/, równoważny jest wartości S^R obu armijnych prplot KUB /60 prplot i 74 prplot/;

- w przypadku B analogiczny j.w. przyrost wartości S^R /między wariantami 2 i 4/, równoważny jest wartości S^R trzech dywizyjnych prplot OSA w 6 A /71 prplot, 88 prplot, 129 prplot/;

- w przypadku C podobnie jak w przypadku B, przyrost wartości S^R związany z zastosowaniem PZSD, mierzony przez porównanie wariantów 2 i 4, równoważny jest wartości S^R trzech dywizyjnych prplot OSA w 6 A /71 prplot, 88 prplot, 129 prplot/.

Przedstawione powyżej, w punktach 1-12, uwagi i spostrzeżenia dotyczą zjawisk podstawowych i nie zawierają przy tym ogólnych wniosków o charakterze merytorycznym.

Wszystkie ogólne i istotne wnioski merytoryczne związane z badaniami wykonanymi w pracy zestawiono w podrozdziale IV.5.

Należy tutaj dodatkowo podkreślić, że zawarte w powyższych spostrzeżeniach dane i relacje liczbowe odnoszą się do wartości średnich. W praktyce wartości wskaźników efektywności bojowej wyznaczone podczas badań rozrzucone są wokół wartości średnich i jak można się przekonać /patrz rys. IV.4.2-IV.4.5. i załączniki 21-27/ wielokrotnie przedziały, w których są zawarte te wartości zachodzą częściowo na siebie. Oznacza to, że przedstawione wnioski i spostrzeżenia dotyczą parametrów i zachowań średnich. W praktyce może się wielokrotnie zdarzać tak, iż w różnych wariantach rozwiązań, rezultaty będą się różnić w stopniu innym niż wskazano to przy okazji powyższych spostrzeżeń, w krańcowych przypadkach relacje między wartościami mogą mieć diametralnie odmienny charakter.

IV.5. Wnioski

W rozprawie przeprowadzono szereg badań o zróżnicowanym charakterze. W pierwszej części pracy tj. w rozdziałach I, II i III, miały one charakter w znacznej części teoretyczny, ukierunkowany na wypracowanie metody postępowania optymalizacyjnego. Przyjętą meto-

ję badawczą zilustrowano w rozdziale IV, na przykładzie badań doświadczalnych połączonych z realizacją celu użytkowego.

Badania przeprowadzone w rozprawie wykazały dużą przydatność przyjętej metody postępowania optymalizacyjnego i pozwoliły na realizację założonych celów badawczych. Potwierdziły się również zalety metody symulacyjnego modelowania na EMC, jako narzędzia kompleksowego badania efektywności rozwiązań systemowych, oraz obserwacji zjawisk i procesów zachodzących w systemie OPL podczas odpięcia nalołów ŚNP nieprzyjaciela powietrznego. Zakres, szczegółowość, dokładność i wiarygodność uzyskiwanych danych, wykraczają poza poziom dostępny w modelowaniu analitycznym, lub w próbach poligonowych i innych doświadczeniach empirycznych prowadzonych w ograniczonej skali^{x/}. Dążenie do modelowania systemowego metodą kompleksowego symulowania na EMC zgodne jest przy tym ze światowymi tendencjami w tym zakresie. Oprócz niewątpliwych walorów poznawczych, metoda ta przewyższa inne formy badań sprawnością i ekonomicznością, a niejednokrotnie jest jedyną zapewniającą uzyskiwanie mierzalnych rezultatów. Stwierdzenia powyższe nie oznaczają oczywiście negowania użyteczności innych metod, w szczególności modelowania analitycznego, ani badań doświadczalnych w ograniczonej skali. W zastosowaniu do optymalizacji procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych, mają one jednak ograniczoną przydatność, dlatego w przyjętej metodzie badawczej pełnią rolę uzupełniającą i cząstkową.

Oprócz prezentacji i zweryfikowania teoretycznej metody badawczej zrealizowano w rozprawie także ważny cel użyteczny. W związku z wciąż aktualną potrzebą planowania rozwojowego wykonano na rzecz Dowództwa Wojsk OPL kompleksowe badania doświadczalne wynikające z planowanego wdrażania do Wojsk OPL Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia. Badania polegały na wyznaczeniu ilościowo-jakościowych wskaźników, obrazujących efektywność stosowania środków automatyzacji w procesie kierowania oraz obserwacji prze-

x/ O tym, że obserwacje prowadzone w ograniczonej skali są niedostatecznie wiarygodne przekonuje np. fakt /patrz wniosek 8 w podrozdz. IV.4/, iż charakter i trendy zmian zachodzących w procesie walki są wyraźne i jednoznaczne dopiero w skali całego systemu OPL. Zmiany wartości wskaźników w skali cząstkowej, np. w grupach oddziałów przeciwlotniczych, są niejednoznaczne i przypadkowe, a analizowane w oderwaniu od całokształtu zjawisk, prowadzić mogą do błędnych wniosków.

tego systemowych zjawisk i procesów w zróżnicowanych warunkach i sytuacjach operacyjno-taktycznych^{x/}.

W trakcie badań potwierdziły się pewne normy i zasady operacyjno-taktyczne, dotyczące obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych. Szczególności po raz kolejny wykazano, że:

- zastosowanie środków automatyzacji zapewni istotny wzrost efektywności bojowej wyróżnionych podsystemów i całego systemu OPL;
- wypadkowa efektywność bojowa systemu OPL jest złożoną funkcją, a którą koincydentnie oddziałują efektywności różnych podsystemów: rozpoznania, rażenia, dowodzenia itd. Najwyższy i ekonomicznie uzasadniony przyrost efektywności bojowej systemu uzyskać można jedynie w drodze kompleksowych modernizacji dokonywanych w skali całego systemu;

- zmniejszanie opóźnień czasowych w procesach: zbierania, przetwarzania i przesyłania informacji o sytuacji powietrznej, ma decydujące znaczenie dla sprawności i operatywności dowodzenia.

Potwierdzenie w badaniach znalazły również m.in. następujące zasady:

- zasada ukierunkowywania procesu kierowania głównie na koordynację działań i koncentrację wysiłku ogniowego tych środków rażenia, które mają najwyższe potencjalne możliwości bojowe, oraz znajdują się w organicznych oddziałach OPL;

- zasada elastycznego regulowania poziomu i stopnia centralizacji kierowania stosownie do złożoności sytuacji bojowej oraz taktyczno-technicznych i organizacyjnych możliwości systemu kierowania;

- zasada stopniowania ważności celów głównie na podstawie oceny zagrożenia jakie one stwarzają dla osłanianych wojsk i obiektów oraz zwalczania w pierwszej kolejności celów najważniejszych /stwarzających największe zagrożenie/, itp.

Praca i przeprowadzone w niej badania dały ponadto możliwość wypracowania wielu innych wniosków. W celu przejrzystej prezentacji najważniejszych spośród nich, połączono je w cztery następujące grupy tematyczne:

1. W zakresie problematyki określania efektywności bojowej w systemie OPL wojsk operacyjnych:

x/ Dokładny opis badań, otrzymane rezultaty i uczynione na ich podstawie spostrzeżenia przedstawiono w podrozdziałach IV.1-IV.4.

a/ wyniki analizy wskazują na pilną potrzebę uporządkowania pojęć związanych z definiowaniem i wyznaczaniem ilościowych miar - wskaźników efektywności w systemie OPL. Poglądy prezentowane w tej dziedzinie /patrz analiza i dociekania w rozdziale I/ są aktualnie bardzo niejednorodne i wieloznaczne;

b/ systemowe podejście do problematyki oceny efektywności procesu kierowania wymaga uwzględniania podczas badań całokształtu powiązań z otoczeniem systemowym. Zgodnie z tą zasadą, podstawą do oceny podsystemu /procesu cząstkowego/ jest stopień i zakres realizacji wymaganych funkcji na rzecz systemu nadrzędnego. Miarą efektywności procesu kierowania jest więc wpływ wywierany przez ten proces na globalną efektywność bojową całego systemu OPL;

c/ kompleksowa ocena efektywności bojowej systemu OPL wojsk operacyjnych wymaga wyznaczania wektora wskaźników ilościowo-jakościowych. Aktualnie nieokreślony jest pojedynczy, mierzalny wskaźnik, zapewniający ścisłą i wyczerpującą ocenę efektywności w skali globalnej. Wyznaczenie takiego wskaźnika nie jest zresztą niezbędne w procesie optymalizacji /patrz rozważania w podrozdziale III.1/;

d/ w świetle wniosków b/ i c/ optymalizacja procesu kierowania jest w swej istocie optymalizacją wielokryterialną. Mimo postępów teorii polioptymalizacji /patrz podrozdział III.1/, nie można podać jednoznacznej reguły postępowania, lecz wskazać jedynie na zbiór najprzydatniejszych metod, spośród których należy dokonywać wyboru stosownie do konkretnych problemów badawczych. Należy podkreślić, że w warunkach wielorakości celów, nawet rozwinięty aparat teoretyczny nie pozwala na uniknięcie konieczności arbitralnego wyboru. Zmienia się tylko reguła wyboru, gdy zamiast pojedynczego celu /wskaźnika/ reprezentanta, wybiera się tzw. koncepcję optymalności.

2. W zakresie organizacji procesu postępowania optymalizacyjnego:

a/ w badaniach optymalizacyjnych związanych z różnymi aspektami funkcjonowania systemu OPL wojsk operacyjnych, podstawowe znaczenie ma proces modelowania, jako praktycznie jedyny dostępny sposób określania funkcji efektywności. Ponieważ modelowanie analityczne nie zapewnia rozwiązywalności złożonych modeli, a empiryczne badania systemu rzeczywistego możliwe są jedynie w bardzo ograniczonej skali, największe nadzieje należy wiązać z symulacyjnym modelowaniem w oparciu o EMC /patrz odpowiednie rozważania we wstępie do rozdziału II/;

b/ postępowanie optymalizacyjne w odniesieniu do procesu kierowania w systemie OPL wojsk operacyjnych, w znacznym stopniu zbliżone jest do doświadczalnych badań optymalizacyjnych /patrz podrozdział III.4/. Wynika to z faktu, że nieokreślona jest jawna postać funkcji efektywności^{x/}, co w połączeniu z dużą liczbą czynników wejściowych i skomplikowanymi ich współdziałaniami, praktycznie wyłącza możliwość bezpośredniego stosowania aparatu teorii optymalizacji;

c/ w procesie badawczym ze względu na złożoność modelu i dużą liczbę teoretycznie dopuszczalnych wariantów rozwiązań, istotną rolę odgrywają czynności doboru i selekcji rozwiązań. Wśród metod przydatnych w tym zakresie szczególną nadzieję należy wiązać z metodami heurystycznymi /patrz podrozdział III.2/;

d/ rozwiązywanie tak złożonych problemów jak optymalizacja procesu kierowania w systemie OPL wojsk operacyjnych, nie jest możliwe bez współpracy interdyscyplinarnego grona kompetentnych i doświadczonych specjalistów. Mimo rozwoju metod teoretycznych, w badaniach optymalizacyjnych na różnych etapach występuje wielokrotnie konieczność dokonywania arbitralnych wyborów. Wyraźnie widoczne jest to np. w polioptymalizacji przy określaniu relacji między celami, przy selekcji i porządkowaniu pomysłów metodami heurystycznymi, podczas modelowania w trakcie wyboru szczegółowości odwzorowania i przy określaniu adekwatności modelu, na etapie planowania doświadczeń w związku z wyborem rodzaju planu itd.

3. W zakresie modelowania procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierniania nalotów ŚNP nieprzyjaciela powietrznego:

a/ zasada systemowości /patrz wniosek 1.b// powoduje, że dla potrzeb badań optymalizacyjnych model powinien odwzorowywać nie tylko kierowanie, ale również w sposób kompleksowy wszystkie podstawowe zjawiska i procesy wpływające na przebieg i rezultaty działań bojowych;

b/ modelowanie metodą programowego symulowania na EMC ma wiele zalet, takich jak: ekonomiczność, szczegółowość, adekwatność itp. Przy badaniu złożonych systemów wojskowych w skomplikowanych sytuacjach taktyczno-operacyjnych wymaga się jednak, aby dostępna EMC

x/ Można jedynie metodą modelowania wyznaczać jej wartości w wybranych punktach.

iała znaczną moc obliczeniową^{x/};

c/ dla osiągnięcia w badaniach wymaganej adekwatności modelowania, bezwzględnie konieczny na wszystkich etapach modelowania jest dostęp do szczegółowych i wiarygodnych danych charakteryzujących funkcjonowanie systemu rzeczywistego^{xx/}.

4. W zakresie organizacji procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpiernania nalotów nieprzyjaciela powietrznego:

a/ wykorzystywany aktualnie w wojskach OPL tzw. system planszowo-foniczny umożliwia skuteczne kierowanie obroną przeciwlotniczą w sytuacjach bojowych charakteryzujących się niewielkim stopniem złożoności. W skomplikowanych sytuacjach taktyczno-operacyjnych, jak np. odpiernanie zmasowanych uderzeń ŚNP nieprzyjaciela przez system OPL podczas osłony głównego zgrupowania uderzeniowego wojsk frontu /armii/, w warunkach silnych zakłóceń radioelektronicznych, konieczne jest stosowanie środków automatyzacji w procesie kierowania /patrz wniosek 5 w podrozdziale IV.4/;

b/ zastosowanie Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia w procesie kierowania obroną przeciwlotniczą, jest najbardziej celowe z punktu widzenia efektywności bojowej systemu OPL w skomplikowanych sytuacjach taktyczno-operacyjnych. Dotyczy to przede wszystkim procesów decyzyjnych związanych ze zwalczaniem ŚNP w powietrzu, w warunkach stosowania przez nieprzyjaciela silnych zakłóceń radioelektronicznych /patrz wnioski 1 i 5 w podrozdziale IV.4/;

c/ Podstawowe znaczenie dla efektywności bojowej systemu OPL ma realizacja funkcji kierowania przez SD oddziałów i związków taktycznych OPL tj. SD BRPlot, SD do, SD prplot i SD paplot. Działania realizowane w tych ogniwach decyzyjnych mają największy wpływ na przebieg zwalczania ŚNP nieprzyjaciela /patrz wniosek 2 w podrozdziale IV.4/;

d/ optymalny stopień i zakres centralizacji kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych jest ściśle uzależniony od ogólnego

x/ Podczas badań wykonywanych w związku z rozprawą korzystano z EMC ODRA-1305. Niewielka moc obliczeniowa tego zestawu wpłynęła ograniczająco na zakres i szczegółowość przeprowadzanych eksperymentów. W podrozdziale II.6 pokazano m.in., że zwiększenie wartości takiego parametru jak zakres dostępnej PAO, z 34 K słów na 128 K słów, pozwala na 2,5-krotne skrócenie czasu trwania obliczeń.

xx/ Szczególnym rodzajem danych są w tym przypadku opinie ekspertów dotyczące rzeczywistego przewidywanego przebiegu zjawisk i procesów.

ej sytuacji taktyczno-operacyjnej, organizacji wojsk, parametrów taktyczno-technicznych środków walki, rozpoznania i dowodzenia, zarówno wojsk OPL jak i ŚNP nieprzyjaciela. Dążenie do nadmiernej centralizacji, w niesprzyjających okolicznościach prowadzić może do obniżenia efektywności bojowej systemu /patrz wnioski 6 i 9 w podrozdziale IV.4/;

e/ podstawowe znaczenie dla efektywności kierowania obroną przeciwlotniczą ma właściwa ocena sytuacji powietrznej, w szczególności prawidłowe określanie zagrożeń jakie stwarzają poszczególne cele dla osłanianych wojsk i obiektów, oraz zwalczanie w pierwszej kolejności celów uznanych za najgroźniejsze. Nieprzestrzeganie tego rodzaju wymagań prowadzi do niewykorzystywania potencjalnych możliwości bojowych i w efekcie do obniżenia efektywności systemu/patrz wniosek 9 w podrozdziale IV.4/;

f/ dla realności procesu decyzyjnego i pełnego wykorzystania możliwości bojowych wojsk OPL, zwłaszcza podczas zwalczania ŚNP nieprzyjaciela w zróżnicowanych sytuacjach taktyczno-operacyjnych, szczególne znaczenie mają informacje zwrotne. Jest to jedyne źródło danych o rzeczywistym stanie, położeniu i działalności bojowej podległych wojsk. Bez tych danych nie można uaktualniać i weryfikować procesu decyzyjnego, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia efektywności bojowej /patrz wniosek 10 w podrozdziale IV.4/;

g/ optymalizacja procesu kierowania jest jednym z wielu sposobów podwyższania efektywności bojowej systemu OPL. Możliwości osiągnięcia wzrostu efektywności drogą doskonalenia kierowania są ograniczone jakością innych podsystemów^{x/}. Także w samym procesie kierowania możliwości dalszego doskonalenia drogą skracania opóźnień czasowych są ograniczone /patrz wniosek 3 w podrozdziale IV.4/. Dla osiągnięcia kolejnego postępu w dziedzinie kierowania obroną przeciwlotnią wojsk operacyjnych, należy realizować inne przedsięwzięcia, w szczególności:

- doskonalenie systemu łączności m.in. przez zwiększenie niezawodności, polepszanie zabezpieczenia kryptograficznego i wzrost odporności na zakłócenia;

x/ Np. - niedostatecznymi zasięgami wykrywania przez RLS niskolejących celów w warunkach intensywnych zakłóceń;

- brakiem dostatecznej liczby rakiet /amunicji/ na SO tych KC, które biorą najbardziej intensywny udział w odpięciu nęlotu;

- zbyt długimi czasami reakcji pododdziałów ogniowych itp.

- rozszerzać zakres funkcji realizowanych w sposób zautomatyzowany, zwłaszcza w zakresie wspomagania procesów decyzyjnych, głównie w aspekcie:

- podziału do zwalczania celów powietrznych pomiędzy naziemne środki OPL i LM;
- podziału do zwalczania celów powietrznych pomiędzy poszczególne pododdziały, oddziały i związki taktyczne, czy wreszcie całe podsystemy ognia;
- określenia kolejności i wyboru do zwalczania celów powietrznych przez poszczególne kanały celowania, pododdziały, oddziały i związki taktyczne;
- zwiększać możliwości systemowego dostępu do informacji o sytuacji powietrznej z różnych źródeł. Dotyczy to w szczególności współpracy za pośrednictwem zautomatyzowanych systemów łączności systemami WL, OPK i WRE oraz dostępu do rozpoznania satelitar-ego.

Badania wykonane w pracy i wyprowadzone na ich podstawie wnioski nie wyczerpują oczywiście w pełni zagadnienia oceny celowości skuteczności zastosowania Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia w procesie kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego.

Eksperymenty wykonywane dla potrzeb badań dotyczyły tylko jednej, określonej sytuacji bojowej i mimo, iż starano się wybrać ją tak, aby reprezentatywnie odwzorowywała warunki prowadzenia działań bojowych występujące najczęściej, a jednocześnie maksymalnie trudne dla systemu OPL, to jest to jednak tylko jeden zestaw czynników warunkujących przebieg działań bojowych, takich jak: model nalotu, ugrupowanie wojsk OPL, organizacja rozpoznania i obiegu informacji o sytuacji powietrznej, organizacja dowodzenia itp.

Oceniając rezultaty uzyskane podczas badań należy także pamiętać o tym, że rozwiązania przyjęte w modelu nie w pełni odwzorowują wszystkie zjawiska i procesy zachodzące podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. Dążąc do oceny skutków wprowadzenia ZSD do wojsk OPL, uwagę skupiono przede wszystkim na aspektach późniejszych czasowych w procesach zbierania, przetwarzania i przesyłania informacji o sytuacji powietrznej oraz podczas wypracowywania i przekazywania decyzji określających sposób zwalczania ŚNP nieprzyjaciela. Przy pomocy opóźnień czasowych odwzorowywano także takie czynniki, jak: niedokładność danych, niespójność informacji

podawanie jej w różnych układach współrzędnych i układach odniesienia/, ograniczoną przepustowość sieci i kanałów łączności itp. Pominęto natomiast szereg innych zjawisk, m.in. ze względu na brak odpowiednich danych^{x/}, nie odwzorowano w modelu możliwości i następstw^{xx/} wypracowywania błędnych decyzji, wynikających z odstępu czasowego między momentem uzyskania danych o sytuacji powietrznej a momentem wejścia celu w SO KC realizującego decyzję. Omówiona tutaj niedokładność modelu nie jest oczywiście jedyną ani najistotniejszą. Konieczne jest dalsze rozwijanie modelu oraz uwzględnianie w badaniach szerszej gamy różnorodnych warunków i sytuacji bojowych. Zamierzenie takie wykracza jednak poza możliwość pojedynczego człowieka i wymaga prowadzenia badań w silnych, odpowiednio wyposażonych i zorganizowanych, interdyscyplinarnych zespołach badawczych.

Biorąc pod uwagę niepełność zrealizowanego i przedstawionego w rozprawie procesu badawczego, autor ograniczył wnioski głównie do ocen jakościowych i wskazania trendów zmian zachodzących w systemie DPL, wynikających z zastosowania PZSD w procesie kierowania.

Badania doświadczalne wykonywane w rozprawie, miały za zadanie zaprezentować walory określonej metody badawczej. Wydaje się, że zamiar ten został w znacznej części zrealizowany.

x/ W podrozdz. II.4 zaznaczono, że prawdopodobieństwo błędnej oceny trasy lotu celu w ogniwie decyzyjnym jest funkcją wielu czynników m.in.: odstępu czasowego między wysłaniem danych o celu a wejściem ŚNP w SO KC; prędkości lotu ŚNP; ugrupowania nalotu itp. Ilościowa ocena tych zależności nie jest nigdzie podana i wymaga odrębnych badań w skali taktycznej, m.in. konieczne są: dostęp do szczegółowych i wiarygodnych danych o lokalnych konfliktach zbrojnych, oraz możliwość wykonywania eksperymentów w warunkach poligonowych.

xx/ Błędna ocena i niewłaściwe prognozowanie rozwoju sytuacji powietrznej wywoływać mogą jak wiadomo konsekwencje dwojakiego rodzaju:

- wskazanie celu podwładnemu, który nie ma realnej możliwości zwalczania celu;

- pominięcie w procesie decyzyjnym podwładnego, który mógłby zwalczać cel, wskutek błędnej oceny, że ŚNP nie wejdą w SO podległych mu KC.

AKOŃCZENIE

Olbrzymi jakościowy rozwój współczesnych środków napadu powietrznego powoduje, że zagadnienia związane z zapewnieniem wojskom we współczesnych i przyszłych operacjach dostatecznej osłony przeciwlotniczej, stają się problemami najwyższej rangi. Konieczne jest nieustanne doskonalenie systemu OPL i podwyższanie jego możliwości bojowych w zakresie co najmniej odpowiadającym wzrostowi zagrożenia powietrza.

Jednym z perspektywicznych kierunków działania jest doskonalenie procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. Wynika on po znacznej części z faktu, że dotychczas wzrostowi siły rażenia i manewrowości wojsk nie towarzyszyło równie dynamiczne doskonalenie procesów i systemów dowodzenia. W rezultacie takiego stanu rzeczy z całą ostrością zarysowała się dysproporcja pomiędzy możliwościami ogniowymi współczesnych środków walki i zdolnościami manewrowymi wojsk, a możliwościami skutecznego dowodzenia wojskami na polu walki.

W celu zmiany tego stanu, wykonuje się w Wojskach Obrony Przeciwlotniczej szereg przedsięwzięć, m.in. użytkowany dotychczas system planszeto-foniczny planuje się zastępować Polowym Zautomatyzowanym Systemem Dowodzenia /PZSD/ opartym o komputerowe przetwarzanie informacji i telekodowy system łączności. W związku z przewidywanymi modernizacjami, konieczne jest prowadzenie specjalnych badań w celu weryfikacji użyteczności oraz określania i porównywania wskaźników efektywności różnych wariantów rozwiązań.

Badania dotyczące działań bojowych wojsk we współczesnych i przyszłych operacjach w znacznym stopniu uwarunkowane są tym, że nowoczesna armia składa się z licznych systemów i jako całość tworzy złożony supersystem. Samo uzbrojenie, które jeszcze niedawno składało się z względnie autonomicznych środków ogniowych, obecnie zastępowane jest skomplikowanymi systemami uzbrojenia, w których zintegrowaną całość tworzą środki ogniowe, środki rozpoznania, środki kierowania oraz środki transportu i zaopatrywania. Zjawiska i procesy zachodzące podczas walki osiągają wielki stopień złożoności i są ze sobą powiązane licznymi skomplikowanymi sprzężeniami. Badanie efektywności takich systemów oraz przewidywanie i ocena skutków dokonywanych zmian i modyfikacji, możliwe są tylko przy zastosowaniu

specjalnych metod badawczych. Niezbędne jest tutaj kompleksowe podejście do problemów oraz systemowa analiza zjawisk i procesów zachodzących podczas działań bojowych. Praca jest próbą rozwiązania ewnych zagadnień w tym zakresie.

Rozprawę poświęcono analizie problemów związanych z szeroko pojętą optymalizacją procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. Optymalizację potraktowano tutaj jako ciągłe działanie, ukierunkowane na wypracowywanie i wybór takich wariantów rozwiązań ze zbioru dopuszczalnych i możliwych do realizacji w określonych warunkach, które są najlepsze ze względu na przyjęte kryteria oceny.

Kompleksowe podejście do zadania optymalizacji spowodowało, że rozpatrywano następujące podstawowe grupy zagadnień związanych z doskonaleniem systemów wojskowych:

- ocenianie efektywności rozwiązań systemowych;
- modelowanie zjawisk i procesów zachodzących w systemie OPL podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego;
- organizowanie i prowadzenie badań ukierunkowanych na wypracowywanie rozwiązań systemowych, badanie ich własności oraz poszukiwanie rozwiązań optymalnych.

Konieczność systemowej analizy zjawisk i procesów miała swoje konsekwencje wyrażające się m.in. tym, że rozpatrywano nie tylko sam proces kierowania, ale także jego pełne otoczenie systemowe. W trakcie analizy i podczas badań uwzględniano wszystkie podstawowe podsystemy OPL, nieprzyjaciela powietrznego, warunki prowadzenia działań bojowych oraz całokształt wzajemnych sprzężeń i oddziaływań. Przy ocenie jakości rozwiązań w zakresie kierowania, postępowano zgodnie z podstawową zasadą systemową, oceniając podsystem głównie z punktu widzenia realizacji funkcji jakie powinien on spełniać w systemie nadrzędnym. Za podstawę do oceny efektywności przyjęto więc wpływ wywierany przez kierowanie na efektywność bojową całego systemu OPL. Metoda systemowa spowodowała konieczność rozszerzenia badań do całokształtu zjawisk i procesów zachodzących podczas walki systemu OPL z nieprzyjacielem powietrznym. W rezultacie rozważania przeprowadzone w rozprawie uzyskiwały aspekt szerszy, niż założono to na wstępie do badań. Opracowany model oraz metody i narzędzia badawcze, wykorzystywać można nie tylko do optymalizacji procesu kierowania obroną przeciwlotniczą

ojek operacyjnych, ale również w innych badaniach np. dotyczących szczególnych podsystemów OPL oraz związanych z doskonaleniem takich zagadnień, jak ugrupowanie wojsk, organizacja rozpoznania i do-
odzenia, organizacja zaopatrywania w rakiety i amunicję itp.

W badaniach prowadzonych w rozprawie, szczególną uwagę zwracano na praktyczny aspekt poruszanych zagadnień, na to aby prezentowane metody i modele można było wykorzystywać do analizy konkretnych problemów badawczych i wyprowadzać wnioski nie tylko o charakterze przesłanek ogólnoteoretycznych, ale przede wszystkim w postaci konkretnych ocen i wskazań opartych o określone wartości wskaźników ilościowo-jakościowych i zestawień porównawczych. Nastawienie takie wynikało z jednej strony z osobistych przekonań autora, w znacznej zaś części także z faktu, że w literaturze poświęconej kompleksowemu doskonaleniu systemu OPL, analizy o charakterze ogólnoteoretycznym potyka się dość często, brak jest natomiast danych o prowadzonych badaniach empirycznych.

Spełnienie postulatów mierzalności, w warunkach dużej złożoności i skomplikowanych sprzężeń między zjawiskami i procesami zachodzącymi podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego, możliwe stało się w rezultacie przyjęcia koncepcji eksperymentalnego charakteru badań, gdyż jak wykazano, na obecnym etapie rozwoju wiedzy kompleksowe modele analityczne mają ograniczoną przydatność. Modele te są bowiem albo zbyt uogólnione i z powodu licznych uproszczeń mało adekwatne do rzeczywistości, bądź też po spełnieniu postulatów adekwatności są tak skomplikowane, że nie można ich rozwiązywać aktualnie znanymi metodami.

Eksperymentalna forma badań najlepsze rezultaty przyniosłaby oczywiście wówczas, gdyby obserwowano zachowanie rzeczywistego systemu w realnych warunkach bojowych. Jest to oczywiście niemożliwe, brak jest także warunków do prowadzenia kompleksowych badań na realnym systemie OPL w warunkach poligonowych. Doświadczenia minionych wojen oraz lokalnych konfliktów zbrojnych, ze względu na odmienny od przewidywanego na przyszłym polu walki charakter i zakres działań bojowych, niekompletność i często małą wiarygodność danych, także przydatne mogą być jedynie w ograniczonym zakresie. Jedyną praktycznie dostępną formą badań kompleksowych, rokującą nadzieję na uzyskiwanie ścisłych danych i ocen, staje się w tej sytuacji modelowanie symulacyjne na EMC i wykonywanie eksperymentów na kompleksowym modelu symulującym działanie systemu OPL podczas

odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego. Dlatego w rozprawie dużą uwagę przyłożono do skonstruowania, przygotowania i przetestowania odpowiedniego modelu oraz systemu oprogramowania symulacyjnego.

Układ przyjęty w pracy stał się rezultatem kompleksowego podejścia do zagadnienia optymalizacji. Trzy pierwsze rozdziały poświęcone są analizom teoretycznym oraz prezentacji założeń i przesłanek, a także metod i modeli, wypracowywanych podczas rozpatrywania wymienionych już, podstawowych grup zagadnień związanych z doskonaleniem systemów wojskowych. Ze względu na podejście systemowe, wszystkie zagadnienia rozpatrywano w odniesieniu do całokształtu działań systemu OPL wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego.

Przyjętą metodę badawczą zilustrowano w rozdziale IV, na przykładzie badań empirycznych związanych z oceną efektywności zastosowania Polowego Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia w wojskach OPL. Badania te wykazały przydatność przyjętej metody oraz pozwoliły na wyciągnięcie szeregu ilościowo-jakościowych wniosków i spostrzeżeń, m.in. określono czynniki, które ograniczają wzrost efektywności bojowej, oraz wskazano na warunki, w których się te ograniczenia ujawniają /patrz podrozdz. IV.4 i IV.5/. Zaobserwowano zjawiska trudno do przewidzenia i ilościowego określenia w inny sposób, wskazując np. na przypadki, w których modyfikacje o teoretycznie pozytywnym charakterze, powodują w rzeczywistości powstawanie skutków negatywnych. Tego rodzaju efekty badawcze dostępne są jedynie w warunkach kompleksowego stosowania i umiejętnego łączenia metod teoretycznych i doświadczalnych.

Rozprawa nie wyczerpuje oczywiście wszystkich zagadnień związanych z doskonaleniem i optymalizacją procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych. Wydaje się jednak, że wskazuje jeden z perspektywnych kierunków działania i pozwala na pewne zmniejszenie obszarów niewiedzy.

Metody i modele prezentowane w rozprawie nie są doskonałe i wymagają oczywiście dalszego rozwoju i doskonalenia. Jednakże już teraz można z nich praktycznie korzystać, a dzięki systemowemu podejściu w trakcie badań, dopuszczalne jest to w zakresie szerszym niż założono na wstępie. Obszar możliwych zastosowań zostanie niewątpliwie określony praktycznie. W szczególności największe nadzie-

o można wiązać ze stosowaniem metody i opracowanego modelu symulacyjnego na EMC w następującym zakresie:

- podczas badań związanych z planowaniem rozwojowym wojsk np. w trakcie analiz dotyczących wprowadzania nowych systemów kierowania, rozpoznania i uzbrojenia itp.;

- w pracach naukowo-badawczych dotyczących planowania użycia wojsk OPL;

- po odpowiednich modyfikacjach i przy dostępie do EMC o dostatecznie dużej mocy obliczeniowej, system oprogramowania symulacyjnego na EMC wykorzystywać można w procesie dydaktycznym, zwłaszcza dla uogólniania konsekwencji przyjmowania różnych rozwiązań w zakresie planowania i użycia wojsk OPL.

Wiele problemów poruszanych w rozprawie potraktowano w sposób skrótowy bądź uproszczony. Przyczyny i zakres takiego działania wskazywano wielokrotnie w tekście pracy.

W tym miejscu można jedynie wyrazić nadzieję, że prawidłowość kierunków poszukiwań, wskazanych sposobów postępowania i form działania znajdzie praktyczne potwierdzenie wówczas, gdy w wyniku skierowania dostatecznie silnego potencjału badawczego, możliwe staną się wyczerpujące badania kompleksowe. Według przekonania autora najwyższym i ostatecznym sprawdzianem przydatności rozprawy będzie niewątpliwie praktyka.

W tym miejscu autor rozprawy pragnie serdecznie podziękować kierownictwu Wojskowego Instytutu Informatyki za stworzenie dogodnych warunków do pisania rozprawy oraz oficerom Dowództwa Wojsk OPL MGN i Katedry Taktyki Wojsk OPL ASG WP za pomoc, uwagi i życzliwą krytykę. Szczególnie serdeczne słowa podziękowania składa autor promotorowi płk doc. dr Tadeuszowi MIROWSKIEMU za naukowe kierownictwo i życzliwy stosunek do autora w trakcie pisania rozprawy, oraz płk dr inż. Czesławowi FLANKOWI i płk mgr. inż. Tadeuszowi MIRSKIEMU, których inspiracja i cenne wskazówki były znaczną pomocą przy pisaniu pracy.

WYKAZ LITERATURY WRAZ Z OZNACZENIAMI UŻYWANYMI PODCZAS CYTOWANIA

1. A. Ameljańczyk "Elementy optymalizacji wielokryterialnej", wyd. WAT, Warszawa 1979 r.
2. Andiersen, Drozzin, Łozin "PWO suchoputnych wojsk", wyd. Woj. Izd. Moskwa 1979 r.
3. Pod redakcją P.I. Andrienko "Teorija wierojatnostiej i bojewoj efektywności", wyd. Woj. Izd. Moskwa 1979 r.
4. H. Altszuller "Algorytm wynalazku", WP Warszawa 1972 r.
5. J. Antoszkiewicz "Metody heurystyczne", PWE Warszawa 1982 r.
6. "Bateria ogniowa rakiet plot KUB", Sygn. WOPL 106/74.
7. Benjamin, Cornell "Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów", wyd. WNT, Warszawa 1977 r.
8. Chalenko "Filozoficzno-metodologiczne problemy prognozowania".
9. Crum L.W. "Analiza wartości", PWE Warszawa 1972 r.
10. J.W. Czujew "Issledowanije operacij w wojennom dielie", wyd. WI, Moskwa 1970 r.
11. J.W. Czujew, J.B. Michajłow "Prognozirowanie w wojennom dielie", wyd. Woj. Izd. Moskwa 1975 r.
12. J.W. Czujew, P. Mielnikow, S.I. Pietuchow, G.F. Stiepanow, J.B. Szor "Podstawy badań operacyjnych w technice wojskowej", wyd. MON/Sz.G. Warszawa 1968 r.
13. W. Dorosiński, M. Targoweka "Metoda rozwiązywania zadań wynalazczych ARIZ" w "Zadanie - metoda - rozwiązanie" praca zbiorowa pod red. A. Góraleckiego, WNT Warszawa 1978 r.
14. W. Drużynin, D. Kontorow "Osnowy sistiemologii", wyd. Sowietskoje Radio, Moskwa 1976 r.
15. W. Drużynin, D. Kontorow "Woprosy wojennoj sistiemotiechniki", wyd. Wojennoje Izdatielstwo, Moskwa 1976 r.
17. "Encyklopedia organizacji i zarządzania", wyd. PWE, Warszawa 1981 r.
18. W. Findejsen, J. Szymanowski, A. Wierzbicki "Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji", PWN 1980 r.
19. G.S. Fischman "Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody", PWE Warszawa 1981 r.
20. Cz. Flanek "Metodologia oceny wykorzystania sił i środków w systemie OPL wojsk operacyjnych", praca doktorska ASG WP, W-wa 1977 r.

1. B. Fleiszman "Elementy teorii potencjalnej efektywności i złożonych sił", wyd. Sow. Radio, Moskwa 1973 r.
2. R.A. Garret, D.P. London "Osnovy analiza operacji na morie", wyd. WI, Moskwa 1974. Tłum. z ang. "Fundamentals of naval operation analysis".
3. Pod red. W. Gasparskiego i D. Miller "Projektowanie i systemy. Zagadnienia metodologiczne", T. 1, wyd. Ossolineum, Wrocław 1978 r.
4. W.A. Gorbunow, "Effektywnost obnarużenija cieliej", wyd. Woj. Izd. Moskwa 1980 r.
5. Pod red. A. Góralskiego "Zadanie - metoda - rozwiązanie", WNT Warszawa 1978 r.
6. Cz. Gozdecki "Automatyzacja systemu dowodzenia obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych", Warszawa 1973, sygn. ASG WP 30/71.
7. Cz. Gozdecki "Kryteria i metody oceny efektywności systemu dowodzenia obroną powietrzną" w serii: Automatyzacja i mechanizacja systemów kierowania w wojsku. Zeszyt 17/54, Warszawa 1971 r.
8. K. Halama "Ogólna charakterystyka funkcjonowania SD OPL frontu /armii/. /Proces decyzyjny/" pismo 01100 z dn. 1.09.1980 r. DWOPL T-26/80.
9. "Instrukcja kierowania ogniem artylerii plot wojsk OPL", sygn. WOPL 66/69.
10. R.A. Iwanow, W.P. Sawieliew, P.W. Sziemanskij "Osnovy uprawlenija wojskami w boju", wyd. WI, Moskwa 1979 r.
11. S.P. Iwanow "O naucznych osnovach uprawlenija wojskami", Moskwa 1975 r.
12. I.H. Jones "Metody projektowania", WNT, Warszawa 1977 r.
13. B. Kacprzyński "Planowanie eksperymentów. Podstawy matematyczne", Warszawa WNT 1974 r.
14. A. Kaufman, M. Fustier, A. Drevet "Inwentyka - metoda poszukiwania twórczych rozwiązań", WNT, Warszawa 1975 r.
15. "Kierowanie ogniem brygady - dywizjonu rakiet plot KRUG", sygn. WOPL 157/80.
16. "Kierowanie ogniem pułku rakiet plot KUB", wyd. MON/SWOPL 1975r. sygn. WOPL 100/74.

7. J.P.C. Kleijnen "Statisticzheskije metody w imitacionnom modelirovani", Moskwa Statistika 1978 tłum. z ang. "Statistical techniques in simulation".
8. E. Kołodziński, T. Pietkiewicz "Wybrane problemy automatyzacji dowodzenia, Skuteczność systemu obrony powietrznej". Zeszyt 2, wyd. WAT, Warszawa 1980 r.
9. E. Konarzewska-Gubała "Programowanie przy wielorakości celów", PWN, Warszawa 1980 r.
10. T. Kręglewski, A. Roszczyński, I. Szymanowski "Metody optymalizacji w języku FORTRAN", PWN 1984 r.
11. R. Kulczycki "Zastosowanie symulacji komputerowej do doskonalenia ugrupowania i kierowania ogniem ZT /oddziału/ WR OPK" rozpr. habilit. ASG WP, Warszawa 1979 r.
12. L. Kuleszyński "Dowodzenie wojskami a cybernetyka" wyd. MON, Warszawa 1967 r.
13. Kuzmin "Zasada systemowości w teorii i metodologii Marksa".
14. E. Laszlo "Systemowy obraz świata" seria $\pm \infty$ wyd. PIW Warszawa 1978 r.
15. "Leksykon wiedzy wojskowej", wyd. MON, Warszawa 1979 r.
16. T. Łojko "Problemy oceny efektywności działań bojowych", Myśl Wojskowa nr 3/1982 r.
17. A.S. Malgin "Uprawlenie ogniem zienitnych raketnych kompleksov", wyd. WI, Moskwa 1976 r.
18. Mały Słownik Cybernetyczny pod red. M. Kempisty WP W-wa 1973.
19. K. Mańczak "Technika planowania eksperymentu", Warszawa WNT, 1976 r.
20. T. Milewski, M. Mulkowski "Wybrane problemy określania efektywności systemu OPL w walce z przeciwnikiem powietrznym", Zeszyty Naukowe ASG WP nr 2/7/79.
21. T. Mirowski "Dowodzenie wojskami OPL podczas odpierania nalotów nieprzyjaciela powietrznego /materiał do studiowania/", ASG WP, 1982 sygn. ASG WP wewn. 3658/82.
22. T. Mirowski "Metodyka oceny możliwości ogniowych i efektywności systemów /środków/ OPL wojsk operacyjnych", Warszawa 1980 r. Sygn. ASG WP wewn. 3514/80.
23. M. Mulkowski "Optymalizacja kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych" met. symp. ZN ASG WP 2/85.

4. T. Obroniecki "Metoda mierzenia przeciwstawnych potencjałów bojowych oraz określania ilościowo-jakościowego stosunku sił w walce wojsk OPL ze środkami napadu powietrznego nieprzyjaciela", Myśl Wojskowa 3/1980 r.
5. "Obrona przeciwlotnicza wojsk" - Podręcznik cz. II /dywizja, pułk/, wyd. MON/SWOPL/ 1975, sygn. WOPL 95/73.
6. "Organizacja OPL w czasie odpierania nalotów na małej wysokości wg. poglądów zachodnich", Przegląd Wojsk Lądowych nr 4/1976 r.
7. "Osnovy postrojenija awtomatizirovannyh sistiem upravlenija wojsk PWO", 1977 r.
8. Z. Pałuch "Rozwój OPL po II wojnie światowej", Warszawa 1977 r.
9. S.A. Pieriesada, Filippow, Diemidow "Borba s niskolietiaszczimi sriedstwami wozdusznogo napadienija", Moskwa 1971 r.
10. S. Piuro, S. Kotlicki "Uproszczone metody obliczania stosunku sił w walce systemów i zgrupowań OPL-związków taktycznych z przeciwnikiem powietrznym", Myśl Wojskowa nr 7/1977 r.
11. Z. Polański "Planowanie doświadczeń w technice", PWN Warszawa 1984 r.
12. "Problemy teorii organizacji i kierowania a systemy przetwarzania danych w dowodzeniu", wyd. MON/Sz.G. Warszawa 1973 r.
13. "Protiwowozdusznaja oborona"/podręcznik/, wyd. ASG SZ ZSRR im. K.E. Woroszyłowa, Moskwa 1977 r.
14. T. Pszczołowski "Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji", wyd. Oesolineum, Warszawa 1978 r.
15. A. Pszeniczny "Siły i straty w działaniach powietrznych", wyd. ASG WP.
16. "Pułk artylerii plot w działaniach bojowych", Sygn.WOPL 53/58.
17. M. Respondek "Istota kierowania i podstawowe elementy procesu informacyjno-decyzyjnego", wyd. TWWO, Warszawa 1977 r.
18. A.N. Romanow, G.A. Frołow "Osnovy awtomatizacji sistiem upravlenija /postrojenije awtomatizirovannyh sistiem upravlenija PWO/", Moskwa 1971 r.
19. "Rozdzielanie celów w taktycznych ogniwach OPL" (BNSzGen sygn.51299)
20. B.H. Rudvick "Wojennoje planirowanije i analiz sistiem", Moskwa 1972, tłum. z ang. "System analysis for efective planning, principles and cases".
21. Siegal, Volf "Modieli grupowego powiedienija w sistiemie cziałowiek maszina".

2. P. Sienkiewicz "Materiały z sympozjum poświęconego efektywności systemów działania".
3. P. Sienkiewicz "Wybrane problemy oceny efektywności systemów dowodzenia" Myśl Wojskowa nr 2/1982 r.
4. P. Sienkiewicz "Teoria efektywności systemów kierowania" rozpr. habilitacyjna ASG WP, Warszawa 1979 r.
5. "Sistemnoje issledowanija, metodologiczeskoje problemy", wyd. Nauka 1980 r.
6. J. Sołnyszkow "Optymalizacja wyboru uzbrojenia", wyd. MON/Sz.G. Warszawa 1969 r.
7. "Sowietskaja wojennaja encyklopedija", wyd. MON ZSRR 1980 r.
8. K. Stangret "Podstawowe zasady sprawnego działania".
9. R. Staniszewski "Cybernetyka systemów projektowania", wyd. Ossolineum, Wrocław 1980 r.
10. "System mierzenia przeciwstawnych potencjałów bojowych oraz określania ilościowo-jakościowego stosunku sił obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych i ŚNP nieprzyjaciela" część I "Opis operacyjno-taktyczny problemu, koncepcja i metody jego rozwiązania", bibl. DWOPL pf-5788
część II - "Opis symulacji procesu walki, algorytmy obliczeniowe i technologie przetwarzania informacji na EMC" - bibl. DWOPL 05789
część III - "Instrukcja eksploatacji użytkowej systemu", bibl. DWOPL 05789
11. Tarabanow "Kriterii efektywności borby s wozdusznym protivnikom" Wojennaja Myśl nr 3/1979 r.
12. Fleming Wencell J., Rishel Raumont W. "Optimalnoje upravlenie determinowanymi i stochastycznymi sistemami", wyd. Mir, Moskwa 1978 r.
13. E.S. Wentzel "Issledowanije operacij /zadaczi, principy, metodologija/, wyd. Nauka Moskwa 1980 r.
14. A. Woronow, G. Kondratiew, J. Czistiakow "Teoreticzeskoje osnovy postrojenija asu", wyd. Nauka Moskwa 1977 r.
15. J. Zabłotni "Metody oceny efektywności bojowej systemu OPL", wyd. ASG WP, Warszawa 1974 r.
16. W. Zamojski "Zagadnienia niezawodności w procesie projektowania systemów: niezawodność systemów. Praca naukowa Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej. Seria: Studia i materiały 18. Wrocław 1976 r.

7. "Zasady obrony przeciwlotniczej wojsk" - podręcznik, wyd. MON /SWOPL/ 1979. Sygn. WOPL 139/78.
8. "Zasady strzelania i praca bojowa baterii rakiet plot OSA-AK". Sygn. WOPL 157/80.
9. "Zasady strzelania i praca bojowa baterii rakiet plot KRUG". Sygn. WOPL 129/76.
0. Zbiorowe "Nadziezność i efektywność ASU", wyd. Technika Kijew 1972 r.
1. Zbiorowe "Modeli i algoritmy programowego metody planowania skomplikowanych systemów", wyd. Wycislitelnyj Cienr AN SSSR. Moskwa. 1979 r.
2. Zbiorowe "Modele sieciowe realizacji procesów informacyjno-decyzyjnych w systemie OPL na szczeblu A i F", 1976, bibl. DWOPL 05413.
3. Zbiorowe "Zweryfikowane modele sieciowe realizacji procesów informacyjno-decyzyjnych w systemie OPL na szczeblach operacyjnych" etap II - 1977 r., nr bibl: DWOPL 05630.

WYKAZ OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

- A^{SEO} - azymut na środek sektora odpowiedzialności w KC;
- $A^{RLS(H)}$ - współczynnik "zasięgowy" RLS;
- β_i^{SZ} - azymut środka strefy zakłóceń;
- $\Delta\beta_i^{SZ}$ - rozwartość kątowa strefy zakłóceń;
- β^{ZAKL} - azymut na źródło zakłóceń;
- $\Delta\beta^{ZAKL}$ - rozwartość sektora zakłóceń na wskaźniku RLS;
- C^α - współczynnik aproksymacji charakterystyki kierunkowej RLS;
- C^Ψ - stosunek poziomu szumu odbiornika do maksymalnego współczynnika wzmocnienia systemu antenowego RLS;
- C^G - zysk kierunkowy anteny RLS;
- C^{KN} - współczynnik widzialności w zakłóceniach dla RLS;
- C^Π - moc RLS w impulsie;
- C^Θ - szerokość charakterystyki promieniów RLS w płaszczyźnie poziomej na poziomie 0,5 mocy promieniowanej;
- D - zasięg widzialności celu przez RLS /bez zakłóceń/;
- \mathbb{D} - zbiór rozwiązań dopuszczalnych;
- D^{LS} - odległość strefy dyżurowania do lotniska macierzystego SM;
- D^0, D^{0max} - odległość obiektu dla śmigłowców od linii styczności;
- $D^{SO}, D_{min}^{SO}, D_{max}^{SO}$ - odległość między obiektem a SO śmigłowców;
- D_z - zasięg widzenia celu przez RLS w warunkach zakłóceń;
- DA - odległość wykonywania ataku przez ŚNP;
- $DM(H)$ - zasięg wykrywania celów o $\delta = 1 \text{ m}^2$ przez RLS w funkcji wysokości;
- $DS(H)$ - promień strefy ognia KC w funkcji wysokości;
- δ - skuteczna powierzchnia odbicia celu;
- Δf - szerokość pasma przenoszenia odbiornika RLS;
- ΔF - szerokość pasma częstotliwości nadajnika zakłóceń;
- f_k - cząstkowa funkcja kryterium przy optymalizacji wielokryterialnej;
- g - numer podgrupy ŚNP;
- $G(\beta, \epsilon)$ - zysk kierunkowy anteny RLS odniesiony do zysku maksymalnego;
- G_z - zysk kierunkowy nadajnika zakłóceń;
- $H_{s,g}$ - wysokość g-tej podgrupy ŚNP na s-tej trasie;
- H^{min}, H^{max} - zasięg wysokości SO KC;
- $H^{SM}, H_{min}^{SM}, H_{max}^{SM}$ - wysokość lotu śmigłowca;

H_{SO}^{min} , H_{SO}^{max} - wysokość śmigłowca na SO;

i - indeks typu KC;

J_j^S - ilość ŚNP j-tego typu;

i_{DEC} , $i_{ST/DEC}$, i_{OGK} , i_{BDEC} , $i_{POM/BDEC}$, $i_{ST/BDEC}$, $i_{ST/POM}$ - wskaźniki charakteryzujące przebieg zjawisk i procesów związanych z kierowaniem /patrz podrozdz. IV.4/;

j - indeks typu ŚNP;

k - stała Boltzmana;

K - kryterium optymalizacji - ilościowy wskaźnik jakości;

K - nadrzędna funkcja kryterium w optymalizacji wielokryterialnej;

k_d - współczynnik jakości szumu generowanego przez źródło zakłóceń;

$K_{i,\lambda}^S$ - ilość nadajników i-tego rodzaju / $i = 1$ w strefie dyżurowania; $i = 2$ na ziemi przed linią styczności, $i = 3$ na ŚNP w nalocie/ zakłócających selektywnie w zakresie częstotliwości λ ;

$K_{i,\lambda}^Z$ - ilość nadajników i-tego rodzaju /znaczenie i : jak wyżej/ zakłócających zaporowo w zakresie częstotliwości λ ;

λ - długość fali RLS oraz w innych miejscach;

λ - indeks zakresu częstotliwości RLS;

N - ogólna ilość ŚNP w nalocie;

D - zbiór parametrów charakteryzujących nieprzyjaciela;

N_i - ilość ŚNP realizujących i-te zadanie bojowe;

N_{λ}^{RLS} - ilość RLS w zakresie częstotliwości λ ;

N_{sz} - współczynnik szumów odbiornika RLS;

o - indeks rodzaju obiektu ataku oraz w innych miejscach;

o - indeks typu obiektu ataku;

DAR - parametr kursowy celu;

$DAR^{GRAN}(H)$ - parametr graniczny danego KC w funkcji H ;

$PB_{i,o}$ - potencjał bojowy ŚNP j-tego typu przy atakowaniu obiektów o -tego rodzaju;

PB^{LM} - potencjał bojowy LM;

PB_o - potencjał bojowy wymagany do obezwładnienia obiektu o -tego typu;

PB^{OPL} - potencjał bojowy systemu OPL;

$PB^{\Delta SNP}$ - potencjał bojowy ŚNP w nalocie;

$\Delta PB^{\Delta SNP}$ - straty potencjału bojowego ŚNP;

PB_z - potencjał bojowy wymagany do zniszczenia o -tego typu obiektu;

PB^{ZRE} - potencjał bojowy ŚNP doniesiony do obiektów i "zrealizowany" podczas ataku;

- p^{BW} - prawdopodobieństwo wykrycia celu przez KC przy samodzielnym poszukiwaniu w sektorze odpowiedzialności;
- $PB(H)$ - prawdopodobieństwo wykonywania lotu przez ŚNP w H-tym przedziale wysokości;
- P_{LZ} - moc nadajnika zakłóceń;
- P^K - zbiór parametrów kierowania;
- P^L - zbiór parametrów charakteryzujących działania bojowe LM;
- P^{LA} - prawdopodobieństwo wykonania ataku przez SM;
- P^{LO} - prawdopodobieństwo pokonania przeciwdziałania ogniowego ŚNP przez SM;
- P^{LS} - prawdopodobieństwo wykrycia celu przez SM przy samodzielnym poszukiwaniu;
- P^{LN} - prawdopodobieństwo wykrycia celu przez SM naprowadzany z PNWC;
- P^{LZ1}, P^{LZ2} - prawdopodobieństwo zniszczenia celu przez SM przy ataku pojedynczo / P^{LZ1} / i parami / P^{LZ2} /;
- P^D - zbiór parametrów podsystemu ognia;
- P^R - zbiór parametrów podsystemu rozpoznania;
- P_S - moc sygnału użytecznego RLS;
- P_{sz} - moc szumu gaussowskiego;
- P^{ROLi} - współczynnik utraty potencjału bojowego ŚNP w wyniku ostrzeliwania przez i-ty typ KC;
- P^W - prawdopodobieństwo wykrycia celu przez RLS;
- $P^{WSP}(D,H)$ - prawdopodobieństwo wykrycia śmigłowca ppanc w funkcji odległości /D/ i wysokości /H/;
- $P^{WLSZ}(D,H)$ - prawdopodobieństwo wykrycia śmigłowca szturmowego w funkcji odległości /D/ i wysokości /H/;
- P^{WZB} - prawdopodobieństwo wykonania zadania bojowego przez system OPL;
- P_Z - moc sygnału zakłócającego;
- P^Z - zbiór parametrów podsystemu zabezpieczenia;
- P^{ZAKL} - prawdopodobieństwo selektywnego zakłócenia RLS;
- $P^{ZN}(H,V)$ - prawdopodobieństwo zniszczenia celu pojedynczą rakietą /pociskiem/ w funkcji wysokości /H/ i prędkości /V/ lotu celu;
- $P^{ZSP}(D,H)$ - prawdopodobieństwo zniszczenia śmigłowca ppanc w funkcji odległości /D/ i wysokości /H/;
- $P^{ZSZ}(D,H)$ - prawdopodobieństwo zniszczenia śmigłowca szturmowego w funkcji odległości /D/ i wysokości /H/;
- P^{ZW} - prawdopodobieństwo wykrycia celu pod warunkiem, że dotrąca informacja o nim z sieci wskazywania, powiadamiania lub ostrzegania;
- Q - gęstość spektralna mocy sygnału zakłócającego;

- $1:Q$ - stosunek sił ŚNP i systemu OPL;
 R - indeks typu RLS;
 R_{LM} - resurs zasięgu lotu SM;
 $R_{\text{ŚNP}}$ - odległość od RLS do ŚNP;
 R_{ZA} - odległość RLS do źródła zakłóceń;
 S - numer grupy /trasy/ ŚNP;
 $S=\{S_i\}$ - funkcjonal strat;
 S - wskaźnik skuteczności;
 \mathcal{S} - zbiór parametrów charakteryzujących warunki, w których funkcjonuje system OPL;
 SAL - ilość rakiet /amunicji/ zużywanych przez KC podczas ostrzeliwania pojedynczego celu;
 SEO - rozwartość sektora odpowiedzialności KC;
 \mathcal{S}^D - zbiór strat dopuszczalnych;
 \mathcal{S}^K - zbiór strat krytycznych;
 \mathcal{S}^N - zbiór strat niedopuszczalnych;
 S^R - ilość zniszczonych ŚNP /ilość wylosowana/;
 S^{RiD} - skuteczność rozpoznania i obiegu informacji o sytuacji powietrznej;
 S^T - wartość oczekiwana ilości zniszczonych ŚNP /suma prawdopodobieństw zniszczenia/;
 $STAN$ - wskaźnik stanu gotowości bojowej KC;
 SY - szybkostrzelność praktyczna KC;
 $SZSL$ - strefa zakazu startu /ostrzału/ dla KC ze względu na położenie celu względem słońca;
 S^{100} - teoretyczna skuteczność ogniowego oddziaływania systemu OPL w warunkach 100% sprawności rozpoznania i obiegu informacji o sytuacji powietrznej;
 T_{sg}^A - moment wykonywania ataku g-tą podgrupą s-tej grupy ŚNP;
 ΔTA - czas wykonywania ataku przez ŚNP;
 ΔTAS - czas wykonywania ataku przez śmigłowce;
 ΔTC - czas cyklu strzelania;
 t_d - czas dyżurowania SM w strefie;
 T^{DEC} - moment stawiania zadania wykonawcom po wypracowaniu decyzji;
 ΔT^{DEC} - czas potrzebny na wypracowanie decyzji i przekazanie jej podwładnym;
 ΔT^{DOP} - maksymalna dopuszczalna różnica momentów wejścia ŚNP w SO KC, nie powodująca zmiany preferencji w przydziale celów do zwalczania;
 T^B - moment osiągnięcia gotowości do rozpoczęcia strzelania;
 ΔTG - czas przeniesienia ognia przez KC;

- ΔT^{GRAN} - graniczny czas "życia" informacji radiolokacyjnej;
 T^1 - moment dotarcia informacji o celu do KC;
 ΔT^1 - czas trwania impulsu RLS;
 T^{ISD} - moment dotarcia informacji o celu do ogniwa decyzyjnego;
 ΔT^{OIZ} - czas opóźnienia przy przekazywaniu informacji zwrotnej;
 $\Delta T_{g_1, g_2}^{OPI}$ - czas opóźnienia informacji o sytuacji powietrznej przy przekazywaniu jej z RLS do KC lub ogniwa decyzyjnego, zależny od kodów grup strukturalnych nadawcy / g_1 / i odbiorcy / g_2 / informacji;
 ΔT^{OPD} - czas potrzebny w ogniwie decyzyjnym na przyjęcie wskazania celu lub odebranie informacji o celu;
 ΔT^{OS} - czas ostrzeliwania celu;
 T^{PZAD} - moment przekroczenia przez cel rubieży ostatecznego postawienia zadania;
 ΔT^{PZAD} - odległość czasowa /tj. mierzona czasem lotu celu/ rubieży ostatecznego postawienia zadania od granicy strefy startu /ognia/ KC;
 ΔT^{SO} - czas przebywania celu w strefie ognia
 ΔT^{ST} - odstęp czasu między startem kolejnych rakiet w KC;
 ΔT^{STA} - czas startu SM z lotnisk;
 ΔT^{SUM} - sumaryczny czas opóźnienia przy przekazywaniu wskazania celu do KC;
 T_{sig}^W - moment wylotu /przekroczenia odcinka zbiórki/ g-tej podgrupy s-tej grupy ŚNP;
 T^{WESO} - moment wejścia w SO KC;
 T_{sig}^{WP} - moment zakończenia walki powietrznej przez g-tę podgrupę s-tej grupy ŚNP;
 $T_{min, max}^{WY}$ - moment wyjścia śmigłowca do ataku;
 T^{WYK} - moment wykrycia celu;
 T^{ZSL} - moment zakończenia śledzenia celu przez RLS;
 W_i - waga operacyjna obiektu;
 W_z^D - wskaźnik możliwości zwalczania celu w z-tym zdarzeniu /o-cel niewskazany i poza SEO ; 1-cel wskazany lub w SEO/;
 W^G - globalny wskaźnik efektywności systemu OPL;
 W_{100}^B - wartość globalnego wskaźnika efektywności systemu OPL w warunkach 100% wykorzystania potencjalnych możliwości bojowych;
 W^P - wskaźnik efektywności podsystemu;
 W^{ZBW} - współczynnik wpływu zakłóceń na wykrywanie i śledzenie celu przez KC w warunkach, gdy cele są samodzielnie poszukiwane w SEO;
 W_z^{ZNI} - wskaźnik zniszczenia celu w z-tym zdarzeniu /o-cel nie-zniszczony; 1-cel zniszczony/;
 W^{ZZW} - współczynnik wpływu zakłóceń na wykrywanie i śledzenie celu wskazanego do zwalczania danemu KC;

- V_{sg} - prędkość g-tej podgrupy, s-tej grupy ŚNP;
- V_i^{max}, V_i^{min} - graniczne prędkości lotu ŚNP pozwalające na zwalczanie ich przez KC;
- V^{OM} - prędkość lotu SM podczas dyżurowania w strefie /prędkość optymalna/;
- V^{PM} - maksymalna prędkość lotu SM podczas przechwytywania celu;
- V^{SM} - prędkość lotu śmigłowca;
- V^X, V^Y - składowe wektora prędkości celu $\vec{V} = (V_x, V_y)$
- X_i - symbol wielkości wejściowej w badaniach doświadczalnych;
- X_{max} - odległość mierzona wzdłuż prostej przechodzącej przez RLS równoległej do trasy lotu celu, między RLS a celem, w momencie wejścia celu w strefę wykrywania RLS;
- X_w - odległość mierzona jak w przypadku " X_{max} ", od RLS do celu, w momencie wykrycia go przez RLS;
- X_{zawr} - odległość mierzona jak w przypadku " X_{max} " od RLS do celu, w momencie "zawracania" celu w strefie wykrywania RLS;
- X^A, Y^A - współrzędne punktu wykonywania ataku przez ŚNP na obiekt uderzenia;
- X^I, Y^I - współrzędne celu w momencie uzyskania informacji o nim w danym ogniwie decyzyjnym;
- X^{KC}, Y^{KO} - współrzędne KC;
- X^L, Y^L - współrzędne lotniska;
- X^O, Y^O - współrzędne obiektu ataku;
- X^P, Y^P - współrzędne punktu "pośredniego" trasy celu;
- X^{RLS}, Y^{RLS} - współrzędne RLS;
- X^S, Y^S - współrzędne strefy dyżurowania SM;
- X^Z, Y^Z - współrzędne źródła zakłóceń;
- Z - numer zdarzenia;
- Z - parametr kursowy celu względem RLS;
- $Z = F(x_1, \dots, x_i)$ - funkcja obiektu badań w badaniach doświadczalnych;
- $Z_{t,i}$ - różnica między wartościami zaobserwowanymi w systemie rzeczywistym $X_{t,i}$, a wartościami zarejestrowanymi w modelu $Y_{t,i}$ $Z_{t,i} = X_{t,i} - Y_{t,i}$
- Z^A - współczynnik określający wpływ zakłóceń termicznych i warunków atmosferycznych na skuteczność zwalczania celu przez KC;
- Z^M - współczynnik określający wpływ wykonywania manewru przez cel na skuteczność jego zwalczania przez KC;
- Z^N - współczynnik niezawodności KC;
- Z^D - zbiór zdarzeń w których można prowadzić ogień $W_Z^D = 1/;$

- Z^s - zbiór zdarzeń zakończonych ostrzeliwaniem celu;
ZURA - zużycie rakiet /amunicji/ przez KC przy ostrzeliwaniu celu;
ZZ - współczynnik określający wpływ zakłóceń radioelektronicznych na skuteczność prowadzenia ognia do celu;

WYKAZ SKRÓTÓW

- IWK - idealny wynik końcowy;
KC - kanał celowania;
LM - lotnictwo myśliwskie;
PD - punkt dowodzenia;
PłSD - połączone stanowisko dowodzenia;
PNWC - posterunek naprowadzenia i wskazywania celów;
PZSD - Polowy Zautomatyzowany System Dowodzenia;
RLS - stacja radiolokacyjna;
SD - stanowisko dowodzenia;
SEO - sektor odpowiedzialności;
SM - samolot /samoloty/ myśliwski;
ŚNP - środek /środki/ napadu powietrznego;
SO - zależnie od kontekstu: stanowisko ogniowe lub strefa ognia.

Wydrukowano w 5 egz.

Egz. nr 1-5 Bibl. Nauk. DZS
Wyk.: kpt. M. Mulkowski
Druk: KP, dn. 15.11.85 r.
Druk ASG WP 0480/01910/WW.

WYKAZ SERWISÓW

- 17K - idealny warty...
- 17L -...
- 17M -...
- 17N -...
- 17O -...
- 17P -...
- 17Q -...
- 17R -...
- 17S -...
- 17T -...
- 17U -...
- 17V -...
- 17W -...
- 17X -...
- 17Y -...
- 17Z -...



