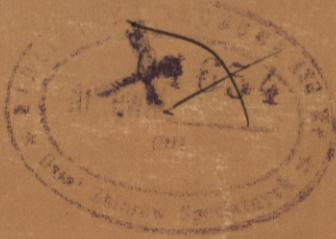




**AKADEMIA  
SZTABU GENERALNEGO**  
IM. GENERAŁA BRONI  
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

Wydany w Warszawie dnia 10-07-84 0789

**JAWNE  
TAJNE**  
Egz. nr 4



Mjr mgr inż. Henryk KIEREBIŃSKI

MODELOWANIE  
WALKI PODSTAWOWYCH RODZAJÓW  
WOJSK OPK NA SZCZEBLU  
TAKTYCZNYM (BAR, plm, brt)  
Z ZASTOSOWANIEM SYMULACJI  
KOMPUTEROWEJ  
(część teoretyczna)

Rozprawa doktorska

12173

WARSZAWA 1984





1  
data 10 07 19 84 0788

**AKADEMIA  
SZTABU GENERALNEGO**  
IM. GENERAŁA BRONI  
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

**JAWNE**  
**TAJNE**

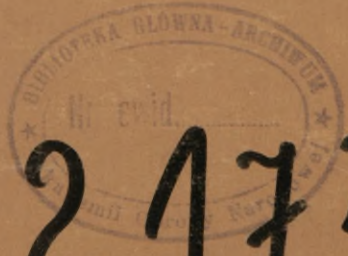
Egz. nr 4



Mjr mgr inż. Henryk KIEREBIŃSKI

**MODELOWANIE  
WALKI PODSTAWOWYCH RODZAJÓW  
WOJSK OPK NA SZCZEBLU  
TAKTYCZNYM (BAR, plm, brt)  
Z ZASTOSOWANIEM SYMULACJI  
KOMPUTEROWEJ  
(część teoretyczna)**

Rozprawa doktorska

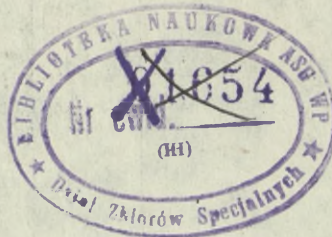


12173

WARSZAWA 1984

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

*Przechl. Prot. 779/21.08.95 DMW*



**JAWNE**

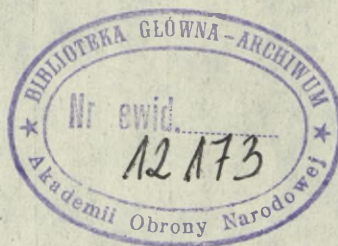
~~TAJNE~~  
Egz.Nr ... 4

mjr mgr inż. Henryk KIEREBIŃSKI

MODELOWANIE WALKI PODSTAWOWYCH RODZAJÓW WOJSK  
OPK NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM /BAR, plm, brt /  
Z ZASTOSOWANIEM SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

/część teoretyczna/

ROZPRAWA DOKTORSKA



Opracowana pod kierownictwem naukowym  
płk doc. dr hab. inż. Romana KULCZYCKIEGO

WARSZAWA 1984

SPIS TREŚCI

WSTĘP .....	7
ROZDZIAŁ I .....	11
1. MODELOWANIE WALKI JAKO METODA KOMPLEKSOWEGO OKREŚLANIA MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH RODZAJÓW WOJSK OPK NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM .....	11
1.1. Charakterystyki metod określania możliwości bojowych poszczególnych rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym. ....	12
1.1.1. Charakterystyka metod określania możli- wości bojowych brygady wojsk raketowych OPK .....	16
1.1.2. Charakterystyka metod określania możli- wości bojowych pułku lotnictwa myśliws- kiego OPK .....	20
1.1.3. Charakterystyka metod określania możli- wości bojowych batalionu radiotechnicz- nego .....	25
1.2. Określanie możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym metodą modelowania ich walki z wykorzystaniem symulacji komputer- owej .....	27
1.2.1. Analiza i synteza systemu obrony powie- trzenj wojsk OPK na szczeblu taktycz- nym .....	38
1.3. Wnioski .....	54

ROZDZIAŁ II .....	57
2. MODEL SYMULACYJNY WALKI SYSTEMU OBRONY POWIETRZNEJ NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM WOJSK OBRONY POWIETRZNEJ KRAJU .....	57
2.1. Założenia przyjęte w modelu .....	58
2.2. Model symulacyjny działań prowadzonych przez batalion radiotechniczny i podległe mu kompanie .....	59
2.2.1. Wykrycie obiektu przez RLP i przesłanie meldunku do brt .....	60
2.2.2. Wpływ zakłóceń czynnych stosowanych przez przeciwnika powietrznego na wykrywanie obiektów przez RLP .....	64
2.3. Model symulacyjny czynności realizowanych na połączonym stanowisku dowodzenia /PłSD/..	68
2.3.1. Analiza możliwości użycia lotnictwa myśliwskiego do walki z ŚNP nieprzyja- ciela .....	70
2.3.2. Analiza możliwości użycia wojsk rakie- towych do walki z ŚNP nieprzyjaciela ...	80
2.4. Model symulacyjny walki elementów aktywnych SOPKT .....	87
2.4.1. Model symulacyjny oddziaływania samolotów myśliwskich na cele powietrzne .....	87
2.4.2. Model symulacyjny oddziaływania przeciw- lotniczych rakiet kierowanych na cele powietrzne .....	98
2.5. Wnioski .....	103

ROZDZIAŁ III .....	106
3. ALGORYTM MODELU SYMULACYJNEGO WALKI RODZAJÓW WOJSK OPK NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM .....	106
3.1. Algorytm ogólny modelu symulacyjnego .....	106
3.2. Algorytmy podprogramów obsługi zdarzeń wyróżnionych w modelu działań bojowych SOPKT .....	113
3.2.1. Algorytm obsługi zdarzenia; "obserwacja sytuacji powietrznej i wykrycie celu" .....	113
3.2.2. Algorytm obsługi zdarzenia; "przyjęcie meldunku o celu na PłSD i jego odwzorowanie" .....	114
3.2.3. Algorytm obsługi zdarzenia; "analiza sytuacji powietrznej na PłSD i podjęcie decyzji o użyciu sił do walki" .....	116
3.2.4. Algorytm obsługi zdarzenia: "postawienie zadań dla plm" .....	121
3.2.5. Algorytm obsługi zdarzenia; "postawienie zadań dla dr OPK" .....	121
3.2.6. Algorytm obsługi zdarzenia; "wyprowadzenie samolotów myśliwskich na cel oraz prowadzenie walki powietrznej" ..	122
3.2.7. Algorytm obsługi zdarzenia; "prowadzenie walki przez dr OPK" .....	124
3.2.8. Algorytm obsługi zdarzenia; "Powrót samolotów myśliwskich na lotnisko i odtwarzanie gotowości bojowej" .....	126

3.2.9. Algorytm obsługi zdarzenia; "odtworzenie gotowości bojowej przez dr OPK" .....	126
3.3. Sposoby wykorzystania metody i przykład jej zastosowania .....	127
3.3.1. Przykład zastosowania metody .....	132
3.3.2. Interpretacja oraz analiza wyników obliczeń programu określania możliwości bojowych "WALKA" .....	135
3.3.3. Wnioski z analizy wyników obliczeń programu określania możliwości bojowych "WALKA" .....	139
WNIOSKI KOŃCOWE .....	140
ZAKOŃCZENIE .....	144
BIBLIOGRAFIA .....	145

## WSTĘP

Celem rozprawy jest wypracowanie metody określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym w oparciu o model ich walki z środkami nalotu powietrznego /ŚNP/ nieprzyjaciela z wykorzystaniem symulacji komputerowej.

Metoda ta polega na użyciu odpowiednio skonstruowanego modelu walki związków taktycznych /oddziałów/ wojsk OPK /ZT/O/ WOPK/ i zastosowaniu do niego techniki symulacyjnej. Wyniki eksperymentów symulacyjnych w postaci: ilości wykrytych przez system radiolokacyjny celów powietrznych, czasów ich śledzenia, ilości możliwych do zaatakowania celów przez lotnictwo myśliwskie i wojska raketowe, strat zadanych nieprzyjacielowi powietrznemu, pozwalają ocenić możliwości bojowe badanego ugrupowania wspomnianych wojsk przy uwzględnieniu wielu złożonych aspektów dynamiki pola walki.

Tak więc, podstawowym narzędziem niezbędnym do oceny możliwości bojowych tych wojsk jest model ich walki, który jednocześnie warunkuje realizację celu rozprawy. Model ten jest tworem ogólnej metody modelowania walki wojsk, której obszar penetracji zawężony został sformułowanym wyżej celem pracy.

Relacja, jaka zachodzi pomiędzy tematem rozprawy a jej celem, może budzić pewne wątpliwości. Dla uzasadnienia jej poprawności posłużę się Encyklopedią Powszechną PWN. Modelowanie, jak podaje encyklopedia, jest ogólną metodą doświadczalną badania różnych układów, zjawisk, procesów w oparciu o konstruowane modele.

Polega ona na budowaniu modeli rozpatrywanego przez badacza układu, zjawiska lub procesu, przeprowadzeniu badań na tych modelach w celu bliższego poznania odwzorowanej nimi rzeczywistości. Określone zjawisko, proces czy układ można przedstawić za pomocą wielu różnych modeli w zależności od celu prowadzonych badań.

Tak więc cel badań jest tym czynnikiem, który ukierunkowuje cały proces modelowania i pozwala skonstruować taki model, w którym ujęte zostaną wynikające z celu problemy.

Symulacja komputerowa jest to technika posługiwania się odpowiednio skonstruowanym modelem w celu wygenerowania określonych zjawisk zachodzących w obszarze badanej rzeczywistości reprezentowanej przez ten model.

Z modelowaniem różnych elementów działań bojowych wojsk OPK spotkałem się niejednokrotnie w dostępnej mi literaturze. Były to jednak opracowania cząstkowe, dotyczące poszczególnych rodzajów wojsk, opracowane osobno w stosunku do każdego z nich.

Rozwiązania te przedstawione są w rozprawach doktorskich: R. Kulczyckiego/24/, A. Adamczyka i E. Zabłockiego /2/, S. Antczaka /3/, czy też w opracowaniu grupy oficerów katedry Wojsk OPK Wydziału WL i OPK ASG WP /33/.

W Zespole Informatyki WL opracowano modele walki środków OPL nieprzyjaciela pozwalające określić wartości prawdopodobieństw zestrzelenia celu powietrznego przez poszczególne rodzaje tych środków. Modele te zostały oprogramowane i w postaci programów na EMC takich jak:

1. POCISK /PR-P1IIAb/
2. RAKIETA /PR-P2IIAb/
3. SAMOLOT /PR-P3IIAb/
4. GROT /PR-P4IIAb/

pozwalają otrzymać interesujące użytkownika charakterystyki.

Wśród wyżej wymienionych opracowań na ten temat, nie spotkałem takiego ujęcia problemu, które obejmowałoby trzy podstawowe rodzaje wojsk OPK na szczeblu taktycznym /BAR, plm, brt/ jednocześnie i w walce z nalotem ŚNP nieprzyjaciela uwzględniałoby występujące między nimi powiązania wynikające z realizacji postawionych im zadań jak również dynamiki działań.

Przedstawiona praca jest próbą takiego właśnie rozwiązania problemu.

Całość opracowania ujęta została w trzech rozdziałach i uzupełniona załącznikami. W rozdziale pierwszym scharakteryzowane są aktualnie stosowane metody określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym oraz zaprezentowana jest metoda kompleksowego podejścia do rozwiązania tego problemu. Jako rozwiązanie przyjęto metodę symulacji walki, wyniki której służą za podstawę do określenia możliwości bojowych badanego ugrupowania. Przyjęcie jej uzasadniono w oparciu o rozważania teoretyczne analizy systemów. Następnie zdefiniowany jest system wojsk OPK na szczeblu taktycznym i dokonana jego analiza i synteza pod kątem realizacji celu pracy.

Materiał zawarty w rozdziale pierwszym wraz z wnioskami stanowi podstawę do opracowania rozdziału drugiego, w którym przedstawiony jest model symulacyjny walki ZT/O/ WOPK z ŚNP nieprzyjaciela.

Algorytm realizacji tego modelu przedstawiony jest w rozdziale trzecim pracy. W rozdziale tym omówiono także zastosowanie opracowanej metody do określania możliwości bojowych rozważanych wojsk w oparciu o przykład taktyczny. Załączniki obejmują program na EMC wraz z instrukcją jego eksploatacji oraz wyniki obliczeń i zawarte są w części praktycznej rozprawy.

Cel rozprawy - wypracowanie metody określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym w oparciu o model ich walki z ŚNP nieprzyjaciela z wykorzystaniem symulacji komputerowej, chcę osiągnąć stosując metody: teorii modelowania cyfrowego, teorii grafów i algorytmów oraz analizę i syntezę systemów.

W pracy chcę odpowiedzieć na następujące, nurtujące mnie pytania:

1. Na ile możliwe będzie systemowe ujęcie działań bojowych ZT/O/ WOPK w walce z ŚNP nieprzyjaciela?
2. Czy proces walki ZT/O/ WOPK będzie możliwy do odwzorowania w postaci komputerowego modelu symulacyjnego?
3. W jaki sposób zastosować przedstawioną metodę określania możliwości bojowych ZT/O/ WOPK w praktyce?

## ROZDZIAŁ I

### 1. MODELOWANIE WALKI JAKO METODA KOMPLEKSOWEGO OKREŚLANIA MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH RODZAJÓW WOJSK OPK NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM.

W procesie planowania działań bojowych i wypracowania decyzji użycia poszczególnych rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym do odparcia spodziewanego nalotu ŚNP nieprzyjaciela, poszczególni dowódcy wypracowują swe decyzje zgodnie z otrzymanym zadaniem w oparciu o aktualne możliwości bojowe podległych im wojsk. W pracy swej powinni dążyć do rozwiązań optymalnych, a w najgorszym przypadku zbliżonych do nich i jednocześnie możliwych do zrealizowania. Decyzje te będą na tyle trafne, na ile dokładnie zostaną obliczone możliwości bojowe poszczególnych rodzajów wojsk. W praktyce stosowane są określone metody pozwalające wyznaczyć te możliwości. Do bardziej znanych i aktualnie stosowanych należy zaliczyć.

1. Metody analityczne.
2. Metody analityczno-graficzne.

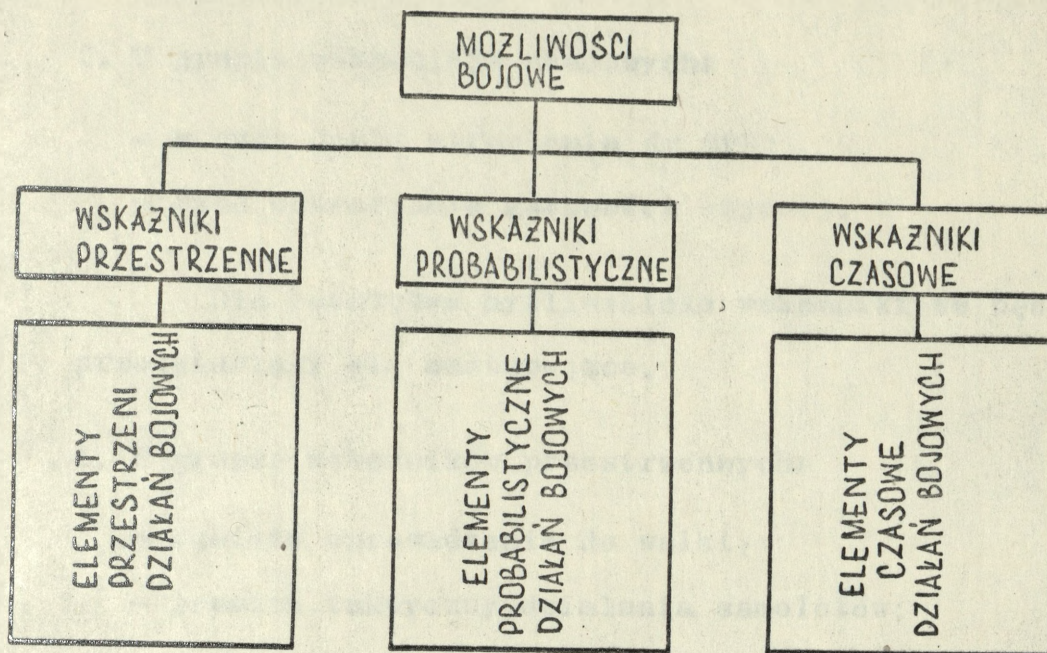
Wspomniane wyżej metody określania możliwości bojowych ZT/O/ WOPK nie rozwiązują jednak problemu w stopniu zadawalającym. Sytuacja ta rodzi konieczność prowadzenia dalszych prac badawczych w tym kierunku. Opracowywane, w ich toku, nowe metody powinny umożliwiać określanie możliwości bojowych wspomnianych wojsk w sposób kompleksowy z uwzględnieniem dynamiki ich działań bojowych oraz dowodzenia nimi.

Charakterystyka metod aktualnie stosowanych oraz propozycja jednej z metod kompleksowej oceny możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym przedstawione są w dalszej części tego rozdziału.

1.1. Charakterystyka metod określania możliwości bojowych poszczególnych rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym.

Przez pojęcie możliwości bojowych wojsk rozumie się zdolność do wykonywania stawianych im zadań. Możliwości bojowe wojsk charakteryzowane są odpowiednimi wskaźnikami, których wartości określają tę zdolność i pozwalają obliczyć oczekiwany rezultat ich działań bojowych. Rezultat ten zależy od rozmachu prowadzonych działań określonego ich przestrzenia oraz od charakterystyk probabilistycznych i czasowych sprzętu stosowanego podczas ich prowadzenia. Elementy tych uwarunkowań przyjmuje się jako wskaźniki możliwości bojowych wojsk.

Ogólnie rzecz biorąc możliwości bojowe wojsk OPK na szczeblu taktycznym można ująć w pewien jednolity system obejmujący trzy podstawowe grupy wskaźników: wskaźniki przestrzenne, probabilistyczne i czasowe  
rys. 1.1.



Rys. 1.1. Wskaźniki możliwości bojowych.

Ze specyfiki prowadzonych działań bojowych przez wspomniane rodzaje wojsk OPK wynika różnorodność elementów w poszczególnych grupach wskaźników. I tak w wojskach raketowych OPK można wydzielić następujące podstawowe wskaźniki ośrodkowe możliwości bojowych.

1. W grupie wskaźników przestrzennych:

- strefy ognia i startu dywizjonów raketowych OPK /dr OPK/;
- rubieże realizacji poszczególnych etapów walki.

2. W grupie wskaźników probabilistycznych:

- prawdopodobieństwo wykrycia celu przez SNR;
- prawdopodobieństwo naprowadzenia rakiety na cel;
- prawdopodobieństwo zniszczenia celu jedną rakieta;
- niezawodność stosowanego sprzętu.

3. W grupie wskaźników czasowych:

- w czas cyklu strzelania dr OPK;
- czas odtwarzania gotowości bojowej.

Dla lotnictwa myśliwskiego wskaźniki te będą przedstawiały się następująco.

1. W grupie wskaźników przestrzennych:

- rubieże wprowadzenia do walki;
- promień taktyczny działania samolotów;
- przestrzeń potrzebna dla przeprowadzenia walki;
- wysokość i prędkość przechwytywania celów.

2. W grupie wskaźników probabilistycznych:

- prawdopodobieństwo wykrycia celu przez pokładową RLS;
- prawdopodobieństwo wyjścia do ataku;
- prawdopodobieństwo zniszczenia celu;
- niezawodność sprzętu.

3. W grupie wskaźników czasowych:

- czas potrzebny na przechwycenie celu;
- czasy osiągnięcia wyższych stanów gotowości bojowej;
- czasy startu, wyjścia ze strefy oraz manewrów;
- czasy możliwości dyżurowania w powietrzu i na lotniskach.

Natomiast dla wojsk radiotechnicznych do wspomnianych wyżej wskaźników można zaliczyć:

1. W grupie wskaźników przestrzennych:

- zasięgi wykrywania poszczególnych typów stacji radiolokacyjnych /RLS/;
- granice ciągłego pola radiolokacyjnego - dolna i górna;
- rubieże wydawanej informacji o SNP nieprzyjaciela.

2. W grupie wskaźników probabilistycznych:

- prawdopodobieństwo wykrycia obiektu powietrznego;
- prawdopodobieństwo naprowadzenia samolotów myśliwskich na cel.

3. W grupie wskaźników czasowych:

- czas analizy wykrytych obiektów i opracowania meldunków;
- czas przekazania informacji o wykrytych obiektach z krt do SD brt.

Przedstawiona wyżej charakterystyka podstawowych wskaźników możliwości bojowych rozważanych rodzajów wojsk OPK stanowi bazę do określania pozostałych wielkości charakteryzujących ich możliwości, takich między innymi jak wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów, efektywność bojowa i innych, o których będzie mowa w dalszej części tego rozdziału.

1.1.1. Charakterystyka metod określania możliwości bojowych brygady wojsk raketowych OPK.

Brygada wojsk raketowych OPK jest podstawowym związkiem taktycznym w strukturze wojsk obrony powietrznej kraju. Zasadniczym jej przeznaczeniem jest niszczenie w powietrzu /na podejściach do obiektów/ pilotowanych i bezpilotowych środków napadu powietrznego nieprzyjaciela, wykonujących nalot na bronione jej siłami obiekty.

W systemie obrony powietrznej kraju BAR OPK wykonuje określone zadania bojowe. Zadania te mogą polegać na obronie obiektu /grupy obiektów/ lub nie dopuszczeniu do przelotu nieprzyjaciela powietrznego w głąb kraju /do obiektów położonych w głębi terytorium kraju/.

Treść zadania bojowego BAR OPK, w zależności od charakteru przewidywanych działań nieprzyjaciela oraz od ważności bronionych obiektów lub kierunków może być różna. Najczęściej obejmuje ona:

- obronę okreśną obiektu lub grupy obiektów przed rozpoznaniem i uderzeniami z powietrza;
- obronę przed rozpoznaniem i uderzeniami z powietrza ważnego pod względem politycznym lub gospodarczym rejonu;
- niedopuszczenie do przelotu w głąb kraju lotnictwa i bezpilotowych środków napadu powietrznego nieprzyjaciela na określonym odcinku.

Zadanie o odpowiedniej treści BAR OPK otrzymuje ze szczebla wyższego - od dowódcy korpusu OPK, w rejonie obrony którego działa.

Dowódca brygady po otrzymaniu zadania zapoznaje z nim swój sztab, przystępuje do jego analizy i ogłasza zamiar udzielając wytycznych poszczególnym oficerom sztabu. Następnie wraz z nim przystępuje do wypracowania decyzji.

W decyzji swej dowódca przedstawia między innymi kierunek skupienia głównego wysiłku, problemy współdziałania z lotnictwem myśliwskim oraz przewidywane straty zadane nieprzyjacielowi.

Podstawą wypracowania decyzji do walki sił i środków brygady z ŚNP nieprzyjaciela są przede wszystkim jej możliwości bojowe, na które składają się:

- możliwości ogniowe;
- możliwości osłony - zorganizowania strefy ognia;
- możliwości gromadzenia rakiet na stanowiskach startowych dr OPK;
- możliwości przejścia w gotowość do otwarcia ognia;
- możliwości wykonania manewru.

Już wstępna analiza powyższych elementów możliwości bojowych brygady pozwala zauważyć, że zasadniczym jest pierwszy z nich tzn. możliwości ogniowe. One przecież determinują skuteczność oddziaływania brygady na ŚNP nieprzyjaciela. Możliwości ogniowe brygady charakteryzowane są takimi parametrami jak:

- wartość oczekiwana liczby zestrzelonych celów /samolotów, rakiet uskrzydłonych itp/ w czasie odpięcia nalotu;
- natężenie ognia;

Wartości tych parametrów uzależnione są od pozostałych czterech a w szczególności trzech z przedstawionych elementów możliwości bojowych brygady tzn.: możliwości osłony, gromadzenia rakiet, przejścia w gotowość do otwarcia ognia. Wszystkie te elementy można wyznaczyć w oparciu o omówione wcześniej wskaźniki możliwości bojowych BAR OPK.

Dalsze rozważania dotyczyć będą jak już wspomniałem najważniejszego z elementów możliwości bojowych brygady tj.: możliwości ogniowych.

Wartość oczekiwana zmiennej losowej  $X$  jaką jest liczba zestrzelonych celów przez brygadę wojsk raketowych OPK zależy przede wszystkim od ilości dywizjonów biorących udział /uczestniczących/ w odpieraniu nalotu / $K_{ucz}$ / oraz od wartości oczekiwanej liczby zniszczonych celów przez poszczególne dywizjony. Zależność tę przedstawia wyrażenie:

$$E(x) = \sum_{i=1}^{K_{ucz}} E_i(x) \quad /1.1/$$

gdzie,

$E_i /x/$  - wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów przez dywizjon o numerze  $i$  wyrażona zależnością:

$$E_i(x) = \sum_j P_{zj}$$

przy czym

$P_{zj}$  - prawdopodobieństwo zniszczenia celu przez dywizjon  $i$  w  $j$  oddziaływaniach.

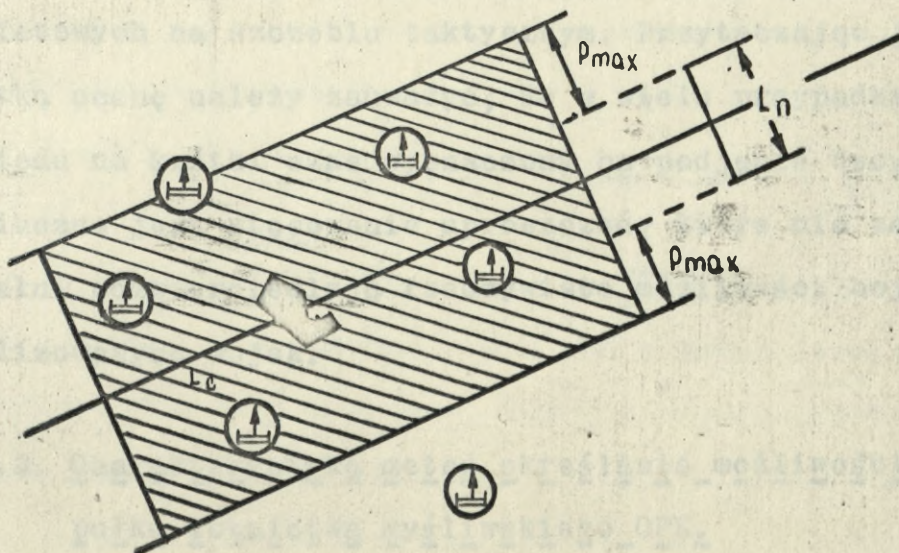
Natężenie ognia jest drugim parametrem możliwości ogniowych brygady, określonym jako stosunek ilości dywizjonów uczestniczących w walce do czasu cyklu strzelania tych dywizjonów. W przypadku gdy w odpieraniu nalotu bierze udział  $K_{ucz}$  dywizjonów o jednakowym typie sprzętu, natężenie ognia wyrażone jest zależnością:

$$G_{BR} = \frac{K_{ucz}}{T_c} \quad /1.2/$$

gdzie

$T_c$  - czas cyklu strzelania dr OPK.

Jak wynika ze wzorów /1.1/, /1.2/ zarówno wartość oczekiwana liczby zestrzelonych celów jak i natężenie ognia BAR OPK będą tym większe im więcej dywizjonów będzie uczestniczyć w odpieraniu nalotu, tzn.: im większe będzie  $K_{ucz}$ . Liczbę tych dywizjonów wyznacza się na podstawie pasa uczestnictwa /rys. 1.2/ charakteryzowanego wielkością maksymalnego parametru dr i szerokością.



Rys. 1.2. Pas uczestnictwa dr w walce.

frontu nalotu [46]. Ogólną zależność na obliczenie  $K_{ucz}$  przedstawia poniższy wzór

$$K_{ucz} = \frac{L_n + 2 P_{max}}{I} \quad /1.3/$$

gdzie:

$L_n$  - szerokość frontu nalotu;

$P_{max}$  - maksymalny parametr dr;

$I$  - szerokość rozmieszczenia stanowisk ogniowych

$$dr / I_{max} = 2 P_{max} /$$

W przypadku gdy BAR OPK jest wyposażona w sprzęt różnego typu,  $K_{ucz}$  należy obliczyć dla każdego z nich i wyniki podsumować.

Przedstawiona wyżej metoda określania możliwości bojowych brygady wojsk raketowych OPK jest metodą analityczną. Zastosowane tu obliczenia są proste lecz zrudne i w znacznym stopniu absorbują czas osób funkcyjnych sztabu. Metoda ta jest jedną z aktualnie stosowanych w wojskach raketowych na szczeblu taktycznym. Przytaczając jej krótką ocenę należy zauważyć, że w wielu przypadkach ze względu na krótki czas wyznaczony na podjęcie decyzji konieczne jest stosowanie uproszczeń, które nie zawsze w pełni odzwierciedlają rzeczywiste możliwości bojowe analizowanych wojsk.

### 1.1.2. Charakterystyka metod określania możliwości bojowych pułku lotnictwa myśliwskiego OPK.

Pułk lotnictwa myśliwskiego OPK jest podstawową i największą jednostką organizacyjną lotnictwa myśliwskiego

w wojskach obrony powietrznej kraju. Zasadniczym przeznaczeniem plm OPK jest niszczenie w powietrzu na określonych kierunkach i rubieżach SNP nieprzyjaciela w celu osłony z powietrza głównych obiektów rozmieszczonych w rejonie obrony korpusu. Zgodnie z jego przeznaczeniem pułk otrzymuje zadania ze szczebla korpusu, które realizuje w oparciu o wypracowaną przez sztab i zatwierdzoną przez dowódcę korpusu decyzję do walki z nalotem SNP nieprzyjaciela. Decyzja ta powinna w pełni uwzględniać możliwości bojowe pułku lotnictwa myśliwskiego, co stanowi podstawę jej realizacji.

O możliwościach bojowych plm OPK, w aspekcie sygnalizowanych wcześniej wskaźników tych możliwości, decydują: przestrzeń bojowego oddziaływania i skuteczność bojowa.

Przestrzeń bojowego oddziaływania tworzą takie elementy jak rubieże wprowadzenia samolotów myśliwskich do walki /potrzebne i możliwe/, promień taktyczny działania samolotów, położenie stref dyżerowania i patrolowania, przestrzeń walki. O ile promień taktyczny działania samolotów podany jest w danych taktyczno-technicznych, to pozostałe elementy należy uzyskiwać drogą żmudnych obliczeń. Sposób ich realizacji oraz odpowiednie zależności matematyczne podaje literatura [17], [45].

Należy tu zaznaczyć ścisły związek między elementami przestrzeni bojowego oddziaływania plm OPK a wskaźnikami możliwości bojowych zarówno w grupie wskaźników przestrzennych jak i czasowych. Wszystkie jej elementy oprócz wspomnianego już promienia taktycznego obliczane są w oparciu o wskaźniki

możliwości czasowych, a niektóre z tych wskaźników np: czas potrzebny na przechwycenie celu i czas dyżurowania w powietrzu zależą od wyznaczonych elementów tej przestrzeni. W rozwiązaniu tego problemu, wysiłek sztabu powinien być skupiony na takim doborze wspomnianych wyżej elementów przestrzeni bojowego oddziaływania plm OPK, aby podział celów między poszczególne grupy bojowe samolotów myśliwskich był optymalny. Pozwoli to zmaksymalizować liczbę oddziaływań na te cele a co za tym idzie zwiększyć straty zadane nieprzyjacielowi.

Na skuteczność bojową plm OPK składają się:

- prawdopodobieństwo przechwytywania celów powietrznych;
- wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów.

Prawdopodobieństwo przechwycenia celu powietrznego uwarunkowane jest wieloma czynnikami mającymi charakter losowy a więc możliwymi do wyrażenia poprzez prawdopodobieństwa ich wystąpienia.

Ogólną zależność na prawdopodobieństwo przechwycenia wyraża wzór /1.4/,

$$P_p = P_{at} \cdot P_{raz} \cdot K \quad /1.4/$$

gdzie:

$P_{at}$  - prawdopodobieństwo wyjścia do ataku;

$P_{raz}$  - prawdopodobieństwo rażenia celu przez samolot myśliwski;

$K$  - współczynnik niezawodności sprzętu naziemnego i pokładowego samolotu myśliwskiego.

Oczywistym jest fakt, że lot na przechwycenie celu może odbywać się w różnych warunkach sytuacji bojowej, które w wielu przypadkach mogą wywierać decydujący wpływ na przebieg całego procesu przechwycenia. Na proces ten składają się: naprowadzenie samolotu myśliwskiego w określony punkt w stosunku do celu, umożliwiające wykrycie go przez środki pokładowe samolotu oraz zajęcia dogodnego położenia do wykonania ataku i jego realizacja. Stąd też bardzo często prawdopodobieństwo wyjścia do ataku wyrażane jest zależnością

$$P_{at} = P_n \cdot P_a, \quad /1.5/$$

gdzie:

$P_n$  - prawdopodobieństwo naprowadzenia samolotu myśliwskiego w określony punkt w stosunku do celu

$P_a$  - prawdopodobieństwo wyjścia samolotu myśliwskiego w strefę możliwych ataków.

Uwzględniając przeciwdziałanie ŚNP nieprzyjaciela obejmujące zakłócenia systemu naprowadzania i wykrywania oraz ogień obronny i wyrażone przez prawdopodobieństwo pokonania przeciwdziałania radioelektronicznego  $/P_{rpd}/$  oraz współczynnik ognia obronnego  $K_{oo}$  wzór /1.4/ przyjmie postać:

$$P_p = P_n \cdot P_a \cdot P_{raz} \cdot K \cdot P_{rpd} \cdot K_{oo} \quad /1.6/$$

Funkcje gęstości rozkładu przedstawionych wyżej prawdopodobieństw zostały stabilizowane, co pozwala wyznaczyć prawdopodobieństwo przechwycenia celu w omawianej tu metodzie.

Prawdopodobieństwo przechwycenia celu przez grupę samolotów myśliwskich można obliczyć według znanej zależności:

$$P_{P/gr/} = 1 - \prod_{i=1}^k /1 - P_{P_i}/ \quad /1.7/$$

gdzie:

$P_{P_i}$  - prawdopodobieństwo przechwycenia tego samego celu przez samolot o numerze  $i$  z grupy samolotów atakujących.

Wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów w procesie walki oblicza się z zależności

$$E(x) = \sum_{j=1}^{N_c} K_j P_{P_j}, \quad /1.8/$$

gdzie:

$P_{P_j}$  - średnie prawdopodobieństwo przechwycenia celu o numerze  $j$ ;

$K_j$  - ilość oddziaływań na cel o numerze  $j$ ;

Jak wynika z /1.8/ wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów w dużej mierze zależy od ilości oddziaływań na poszczególne cele, a to z kolei zależy od przestrzeni działań bojowych plm OPK.

Przedstawiona wyżej metoda określania możliwości bojowych plm OPK jest metoda aktualnie stosowana na tym szczeblu. Jest ona poprawna, lecz wymaga dużego nakładu pracy i czasu oraz nie uwzględnia problemów możliwości ilościowego zabezpieczenia wykrywania celów i naprowadzania lotnictwa przez wojska radiotechniczne /WRT/ oraz współdziałania z wojskami raketowymi.

1.1.3. Charakterystyka metod określania możliwości bojowych batalionu radiotechnicznego.

Batalion radiotechniczny WRT OPK jest przeznaczony do realizacji zadań radiolokacyjnego rozpoznania i zabezpieczenia działań bojowych określonych związków, oddziałów i pododdziałów WR, LM i WRE oraz zbioru informacji radiolokacyjnej z podległych kompanii, jej opracowania i przekazania do SD brygady.<sup>1/</sup>

Możliwości bojowe brt w tym zakresie, w ujęciu przedstawionych wcześniej ich wskaźników, zależą od przestrzeni informacyjnej batalionu, wynikającej z wielkości strefy obserwacji radiolokacyjnej oraz od skuteczności wykrywania obiektów, naprowadzania lotnictwa na cele i wskazywania celów wojskom raketowym.

Przestrzeń informacyjną batalionu tworzą rubieże wydawania informacji o SNP nieprzyjaciela, które uwarunkowane są rozmiarami granic utworzonego przez podległe mu kompanie radiotechniczne, ciągłego pola radiolokacyjnego oraz możliwościami czasowymi opracowania i przekazywania informacji z krt do SD batalionu. Istnieją określone zależności [47] umożliwiające wyznaczenie zewnętrznej oraz górnej i dolnej granic utworzonego pola radiolokacyjnego i współczynnika przekrycia decydującego o jego ciągłości.

---

1/ Biuletyn Informacyjny Nr 2 /122/ MON Warszawa 1976 r.  
s. 132

Obliczenia realizuje się metodą analityczno-graficzną polegającą na wykonaniu szeregu przekrojów pola radiolokacyjnego na różnych wysokościach względem rzeźby terenu oraz ich analizie pozwalającej określić parametry tego pola.

Skuteczność wykrywania obiektów, naprowadzania lotnictwa myśliwskiego na cele i wskazywania celów wojskom raketowym wyraża się poprzez prawdopodobieństwa realizacji tych zadań oraz wartość oczekiwaną liczby wykrytych obiektów, liczby naprowadzeń czy wskazań.

Wybór jednego z tych kryteriów oceny możliwości bojowych brt wynika bezpośrednio z treści otrzymanego zadania.

I tak w przypadku, gdy cel zadania sprowadza się do uzyskania odpowiedzi na pytanie czy zadanie zostanie wykonane lub nie, to jako kryterium oceny możliwości wykonania takiego zadania przyjmuje się prawdopodobieństwo jego realizacji.

W przypadku, gdy zadanie polega na osiągnięciu określonego wyniku to jako kryterium możliwości jego wykonania przyjmuje się wartość oczekiwaną liczby wykrytych obiektów lub ilości zrealizowanych naprowadzeń albo wskazań celów.

Oceniając możliwości radiolokacyjnego zabezpieczenia dowodzenia wojskami OPK za kryterium jego oceny przyjmuje się liczbę jednocześnie prowadzonych celów. Wielkość ta w dostatecznym stopniu opisuje możliwości informacyjne badanego ugrupowania wojsk radiotechnicznych.

Jako kryterium oceny możliwości zabezpieczenia działań bojowych przeciwlotniczych zestawów raketowych oraz oddziałów wojsk lotniczych przyjęto prawdopodobieństwo radiolokacyjnego zabezpieczenia wskazywania celów lub naprowadzania

w granicach omawianej wyżej przestrzeni informacyjnej batalionu. O jakości wykonania tego zadania decyduje dokładność informacji radiolokacyjnej dostarczanej jednostkom biorącym bezpośredni udział w walce.

Dla wykonania obliczeń omówionych wyżej charakterystyk pola radiolokacyjnego wykorzystuje się metody analityczne bazujące na znanych wzorach statystyki matematycznej.

Omówione wyżej metody określania możliwości bojowych brt WRT OPK są aktualnie stosowane w tych wojskach. Nie uwzględniają one jednak dynamiki walki oraz wymagają dużych nakładów pracy, w związku z tym pochłaniają znaczna ilość czasu przeznaczanego na wypracowanie decyzji. W przypadku braku czasu stosowane są ich wersje skrócone, co w pewnym stopniu spłyca rozwiązanie problemów i nie oddaje w pełni rzeczywistych możliwości bojowych badanych ugrupowań oddziałów wojsk radiotechnicznych OPK.

#### 1.2. Określanie możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym metodą modelowania ich walki z wykorzystaniem symulacji komputerowej.

Przedstawiona tu metoda określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym polega na takim zamodelowaniu ich walki, która pozwoliłaby zastosować symulację komputerową dla uzyskania jej wyników. Wyniki tej symulowanej walki posłużą następnie do określenia wspomnianych wyżej możliwości bojowych. Jej prezentację

rozpoczną od systemowego podejścia do zagadnień związanych z prowadzeniem działań bojowych przez wspomniane rodzaje wojsk.

Nauki o systemach, choć wywodzą się z rewolucji przemysłowej i rozwinęły się w okresie rewolucji naukowo-technicznej, kładąc duże zasługi w jej rozwoju, z powodzeniem zostały zastosowane w wielu dziedzinach nauki wojennej w latach drugiej wojny światowej. W ich rozwoju jak podaje A. Rogucki [40] można wydzielić dwa poziomy:

- poziom abstrakcji /badania teoretyczne/,
- poziom praktyki /badania stosowane/.

Pierwszy z nich rozszedł się na dwa główne kierunki: ogólną teorię i cybernetykę teoretyczną. Na poziomie praktyki wyodrębniły się natomiast: analiza systemów, badania operacyjne oraz inżynieria systemów. Z punktu widzenia niniejszej pracy, bardziej szczegółowo zajmę się poziomem praktyki.

Analiza systemów wyodrębniła się z badań operacyjnych, które na tym poziomie rozwinęły się najwcześniej. Konieczność ta wynikała z dążenia badaczy, stosujących w swych pracach badania operacyjne, do kompleksowego, systemowego podejścia i starannego formułowania problemu. Odpowiednio staranne sformułowanie problemu wymagało uprzedniego przeprowadzenia szczegółowej analizy systemu, która umożliwiłaby właściwe jego postawienie. Według A. Roguckiego, liczne sprawozdania z przeprowadzonych badań stosowanych publikowane pod hasłem "Analiza Systemów"

pozwalają wyróżnić w nich trzy główne kierunki.

1. Analizę systemów materialnych /technicznych, biologicznych/.
2. Analizę systemów informacyjnych.
3. Analizę systemów kierowania, zarządzania i dowodzenia.

W ramach analizy systemów materialnych /ta grupa systemów mieści się w sferze meich zainteresowań związanych z pracą/ opracowuje się i wykorzystuje metody niezbędne do badania, oceniania i projektowania zmian doskonalących funkcjonowanie tych systemów.

Zagadnienia te są przedmiotem zainteresowania wielu firm, w których prowadzone są badania w kierunku dalszego doskonalenia i opracowywania nowych metod analizy systemów.

W ujęciu jednej z nich - korporacji RAND /Research and Analysis Development Corporation/, analizie systemów materialnych stawia się następujące zadania:

- ustalenie celu, który ma spełniać system /analiza i sformułowanie problemu/;
- określenie zadań i czynności systemu /analiza funkcji/;
- opracowanie alternatywnych i wariantowych rozwiązań systemu;
- identyfikacja innych systemów mogących współdziałać z danym systemem;
- opracowanie modelu działania systemu;
- zebranie i opracowanie danych ilościowych o działaniu modelu;
- wypróbowanie modelu;

- określenie nakładów, kosztów i efektów systemu;
- rozwiązanie problemów dotyczących ryzyka systemu;
- wykonanie dodatkowych wariantów systemu;
- wybór najkorzystniejszego wariantu systemu.

W przedstawionym wyżej ujęciu, analiza systemów wykazuje wiele elementów wspólnych z inżynierią systemów /projektowaniem/.

W rozważaniach nad systemem, jaki tworzą BAR, p1m, brt, główny wysiłek chce skupić nad problemem możliwości zbudowania jego modelu symulacyjnego dla określania możliwości bojowych. Pod tym też kątem zostanie dokonana jego analiza. W związku z powyższym analizie wspomnianego systemu można postawić następujące zadania:

- ustalenie celu, jaki realizuje system /analiza i sformułowanie problemu/;
- określenie zadań i czynności systemu /analiza funkcji/;
- opracowanie modelu działania systemu;
- zebranie i opracowanie danych ilościowych o działaniu modelu;
- określenie efektów systemu na podstawie modelu.

Z analizą systemów nierozzerwalnie wiąże się pojęcie system. W literaturze fachowej dotyczącej badania systemów istnieje wiele jego definicji. Twórca ogólnej teorii systemów L. von Bertalanffy pojęcie systemu ujmując następująco: "Istnieją pewne zasady decydujące o podobnym zachowaniu się obiektów o bardzo różnej naturze. Dzięki temu podobieństwu wszystkie takie obiekty można rozpatrywać z pewnego

punktu widzenia jako "systemy", to jest jako zespoły współdziałających elementów".<sup>1/</sup>

J. Zieleniecki, w jednej ze swych prac, na temat systemu pisze.: "Jeśli rozpatrując jakiś układ stwierdzimy, że jego elementy są pod jakimś względem uporządkowane, rozpatrujemy go pod tym względem jako system. Ze względu na swoje uporządkowanie system jest czymś więcej niż sumą jego elementów".<sup>2/</sup>

Natomiast R. Kulikowski [26] przez pojęcie system rozumie zespół elementów lub obiektów, które są powiązane w pewną całość przez określone związki lub zależności. Bardziej sformalizowane definicje pojęcia system podali w swych pracach M. Mesarowić [28] i R. Kalman [20], gdzie można zapoznać się z jego opisem symbolicznym.

Znany radziecki teoretyk systemów H.N. Sadowski, próbując uściślić pojęcie systemu, proponuje następującą jego definicję.: "... Przez system należy rozumieć taki zbiór elementów, który wraz z istniejącymi między nimi sprzężeniami i relacjami stanowi pewien twór całościowy".<sup>3/</sup>

- 
1. L.von Bertalanffi; General Systems Theory. General System, vol 1. New Jork 1956 /Problemy metodologii badań systemowych. WNT Warszawa 1973 s. 54, cyt. za A.I. Ujemow: Systemy i badania systemowe/.
  2. J. Zieleniecki; Organizacja zespołów ludzkich. WNT Warszawa 1964 s. 41.
  3. Problemy badań systemowych. WNT Warszawa 1973 s. 59 /cyt za A.I. Ujemow: Systemy i badania systemowe/.

Przedstawione wyżej definicje systemu, jak i wiele innych, które można spotkać w literaturze dotyczącej ogólnej teorii systemów świadczą o złożoności problemów, z którymi styka się badacz systemów. W praktycznym ujęciu analizy systemów wojskowych chodzi przede wszystkim o operatywne sformułowanie definicji systemu, w takich kategoriach i w takich językach, które byłyby niemal bezpośrednio przydatne przy przejściu od rozważań teoretycznych do roboczych zagadnień ich analizy.

Wychodząc z powyższego stwierdzenia można przedstawić definicję systemu bojowego zaprezentowaną przez P.N. Tkaczenkę [48], który przez system bojowy rozumie całościowy kształt środków zarówno aktywnych, jak i pasywnych organizacyjnie kierowanych i działających w celu wykonania postawionego zadania bojowego. Dla precyzyjnego określenia obszarów analizy i syntezy systemów można odwołać się do tzw. teoriomnogościowej definicji systemu L. von Bertalanffy'ego [43], według której system definiuje się jako parę uporządkowaną

$$\langle M, R \rangle \quad /1.9/$$

składającą się ze zbioru elementów  $M$  i ciągu  $R$  określonego jako relacje na zbiorze  $M$ .

Zbiór relacji  $R$  określa strukturę systemu i ma następującą własność: dla dowolnych zbiorów  $M_i$  i  $M_j$ , takich że

$$M_i \cup M_j = M$$

oraz

$$M_i \cap M_j = \emptyset$$

/co oznacza, że suma zbiorów  $M_1$  i  $M_2$  wyczerpuje zbiór elementów  $M$  oraz iloczyn tych zbiorów jest zbiorem pustym/ istnieją takie elementy  $m_1 \in M_1$  i  $m_2 \in M_2$ , że prawdziwe jest co najmniej jedno ze stwierdzeń

$$\langle m_1, m_2 \rangle \in R$$

lub

$$\langle m_2, m_1 \rangle \in R$$

określające przynależność powiązań między elementami tych zbiorów do zbioru relacji  $R$  określonym na zbiorze  $M$ . Struktury określone zbiorem  $R$  mogą przedstawiać: strukturę organizacyjno-funkcyjną, przestrzennie-czasową, informacyjną.

Przedstawienie systemu w postaci pary uporządkowanej /1.9/, należy traktować jako model strukturalny systemu reprezentujący jego statykę. Wprowadzając dodatkowe zbiory: zbiór stanów  $X$  określony na zbiorze  $M$  oraz zbiór chwil czasowych  $T$  i np. zbiór zdarzeń  $Z$  określony na zbiorze  $T$  uzyskamy dynamiczny model systemu reprezentowany przez piątkę uporządkowaną

$$\langle M, R, X, T, Z \rangle \quad /1.10/$$

gdzie: zbiory  $M$  i  $R$  są określone jak w dwójce Bertalanffy'ego /1.9/. Natomiast zbiór  $X$  określa przestrzeń stanów dopuszczalnych  $x_{1j}$  elementów systemu / $x_{1j}$  - stan o numerze  $j$  elementu  $m_1$ /. Zbiór  $T$  określa zbiór chwil czasowych  $t \in T$ . Zbiór  $Z$  jest zbiorem zdarzeń zachodzących w systemie i spełnia następujący warunek:

$$Z = \{z : T \rightarrow X\},$$

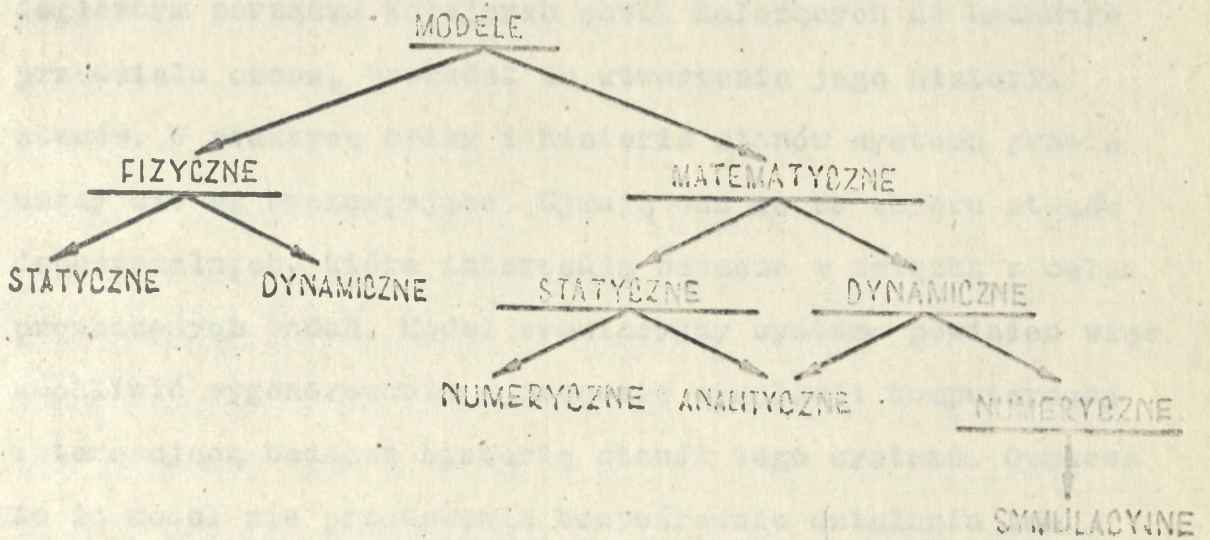
który oznacza, że do zbioru  $Z$  należy każde ze zdarzeń, które w określonej chwili czasowej  $t \in T$  zmienia stan systemu  $x_{ij} \in X$ .

Stosując wyżej zaprezentowaną definicję do konkretnego systemu rzeczywistego można przystąpić do jego analizy i syntezy co pozwoli wypracować podstawy dla zbudowania jego modelu.

Wracając do omówionej wcześniej analizy systemów należy stwierdzić, że zasadniczym jej narzędziem jest modelowanie. Polega ono na tworzeniu modelu systemu rzeczywistego /odwzorowaniu systemu/. W badaniach systemów stosuje się różne rodzaje modeli. Każdy model reprezentuje sobą pewien określony zbiór informacji o systemie zebranych w celu jego zbadania. Rodzaj tych informacji zdeterminowany jest przez cel badań. Stąd też dowolny system rzeczywisty może mieć wiele różnych modeli odwzorowujących problemy interesujące badacza w procesie prowadzonych przez niego badań.

W literaturze poświęconej analizie systemów i badaniom operacyjnym [8], [13], [14], [40] różni autorzy różnie definiują i klasyfikują modele. W jednej z nich [14]

G. Gordon przedstawia klasyfikację pokazaną na rys. 1.3. Według niej wyróżnione zostały modele fizyczne i matematyczne. Zarówno modele fizyczne jak i matematyczne dzielą się na statyczne i dynamiczne.



Rys. 1.3. Klasyfikacja modeli systemów rzeczywistych.

W przypadku modeli matematycznych dalszy podział wynika z metod przedstawienia modelu i wyróżnia się tu modele analityczne i numeryczne. Wśród matematycznych, dynamicznych modeli numerycznych wyróżnia się modele symulacyjne. Matematyczny model symulacyjny według R. Hooke'a i D. Shaffera [18], jest to opisowy model przyczynowy, w którym zostały wyodrębnione istotne czynniki badanego systemu, opisujące jego zachowanie się. W innych źródłach [42] przez pojęcie modelu symulacyjnego rozumie się takie przedstawienie modelu matematycznego, które umożliwia symulację na maszynie cyfrowej. Tak więc z pojęciem modelu symulacyjnego nierozdzielnie jest związany proces symulacji. Polega on na konstruowaniu historii stanów modelu badanego systemu.

W każdej dowolnej chwili czasu system znajduje się w konkretnym stanie, określonym przez chwilowe stany wszystkich jego elementów. Zmiana stanu chociażby jednego z nich pociąga za sobą zmianę stanu systemu. Analiza stanów systemu w chrono-

logicznym porządku kolejnych chwil należących do badanego przedziału czasu, prowadzi do utworzenia jego historii stanów. W praktyce opisy i historia stanów systemu prawie nigdy nie są wyczerpujące. Ujmują one te ze zbioru stanów dopuszczalnych, które interesują badacza w związku z celem prowadzonych badań. Model symulacyjny systemu powinien więc umożliwić wygenerowanie w procesie symulacji komputerowej interesującą badacza historię stanów tego systemu. Oznacza to iż model nie przedstawia bezpośrednio działania lub zachowania się systemu. Dopiero historia stanów modelu daje tę możliwość. Tak więc pojęcie - model ma reprezentować system, oznacza że dany stan modelu przedstawia dany stan systemu. Mając system i jego model możemy wygenerować historię stanów tego modelu, którą interpretujemy jako historię stanów systemu. Proces generacji historii stanów będzie więc procesem symulacji a model zastosowany w nim będzie modelem symulacyjnym.

Model systemu może być skonstruowany jako program dla elektronicznej maszyny cyfrowej /EMC/. Symulację, w której zastosowano taki właśnie model nazywa się symulacją komputerową.

Wykorzystanie w procesie symulacji elektronicznej techniki obliczeniowej /ETO/ pozwala na szybkie i kilkakrotne zastosowanie modelu do generacji jego stanów co umożliwia z kolei wnikliwe przebadanie analizowanego systemu.

W celu określenia możliwości bojowych wspomnianych oddziałów wojsk OPK, w ujęciu przedstawionej wyżej analizy systemów, należy w pierwszym rzędzie zidentyfikować systemy, które tworzą na szczeblu taktycznym tych wojsk BBR, pła, brr

oraz PiSD. Realizując poszczególne etapy wspomnianej już analizy systemów w jej pierwszej fazie /zwanej fazą analityczną/ należy dokonać analizy wszystkich elementów systemu i powiązań między nimi. Ustalono w jej wyniku cele pośrednie i finalne realizowane przez poszczególne elementy systemu określają problemy, których rozwiązanie należy uwzględnić przy konstruowaniu modelu walki systemu. Ustalono cele i sformułowane problemy umożliwią dokonanie analizy funkcjonalnej systemu, które pozwoli określić jego zadania i czynności, oraz sprecyzować opisujące je charakterystyki. Materiał uzyskany w trakcie realizacji tej fazy będzie podstawą do opracowania modelu działania systemu.

Model powstały w drugiej fazie /konceptyjnej/, obejmującej zagadnienia związane z logiczno-matematycznym opisem działania poszczególnych elementów systemu, powinien uwzględniać zależności czasowo-przestrzenne i probabilistyczne wpływające bezpośrednio na wynik realizacji stawianych przed nim zadań. Wygenerowana historia stanów modelu uwzględniać będzie także dynamikę dowodzenia poszczególnymi elementami wykonawczymi systemu i dynamikę ich walki. Interpretowana jako historia stanów systemu umożliwi więc kompleksową ocenę jego możliwości bojowych tzn możliwości bojowych wspomnianych wojsk w ujęciu systemowym z uwzględnieniem dynamiki dowodzenia nimi oraz prowadzonych przez nie działań.

Zastosowanie modelowania walki wojsk OPK na szczeblu taktycznym z wykorzystaniem symulacji komputerowej do określania ich

możliwości bojowych jest jakościowo nową metodą, której wyniki w dużym stopniu będą zbliżone do realnych.

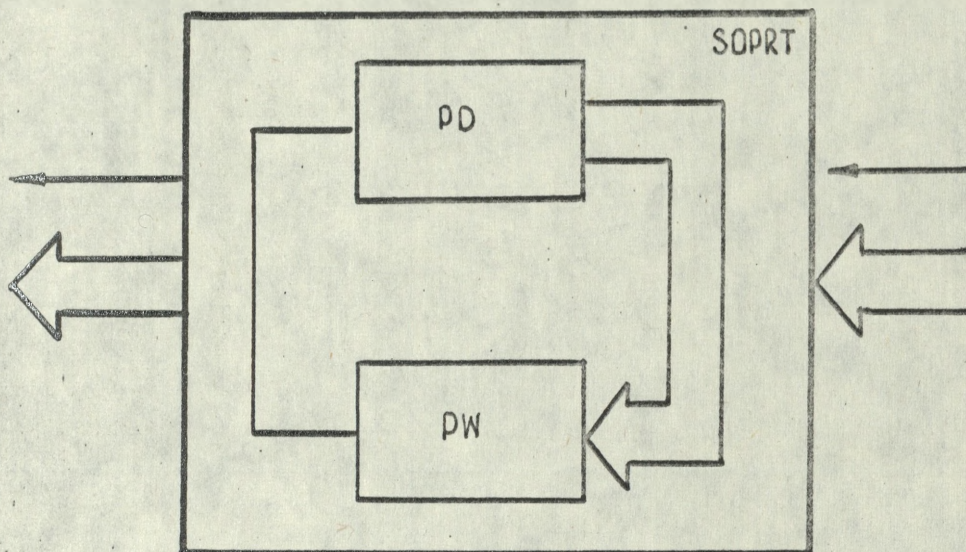
Inną zaletą zaprezentowanej tu metody jest to, że wyniki uzyskane będą w procesie symulacji systemu rzeczywistego reprezentowanego przez model a nie na drodze badań samego systemu, co obniża koszty tych badań i jednocześnie umożliwia wielowariantowe i wszechstronne ich przeprowadzenie.

Przed przystąpieniem do konstruowania modelu symulacyjnego walki wojsk OPK na szczeblu taktycznym, które będzie treścią rozdziału drugiego, dokonam analizy i syntezy systemu tych wojsk.

#### 1.2.1. Analiza i synteza systemu obrony powietrznej wojsk OPK na szczeblu taktycznym.

System obrony powietrznej wojsk OPK na szczeblu taktycznym /SOPKT/ rozumiany jako całokształt środków zarówno aktywnych jak i pasywnych organizacyjnie kierowanych i działających w celu wykonania zadania bojowego postawionego przez dowódcę korpusu OPK, można podzielić na podsystem dowodzenia /PD/ i podsystem wykonawczy /PW/ /Rys. 1.4/. W ogniwach dowodzenia PD /SD BAR, plm, brt/ wypracowuje się decyzje do prowadzenia działań głównie w oparciu o treść zadania bojowego KOPK, możliwości bojowe podległych im wojsk oraz prawdopodobny model nalotu ŚNP nieprzyjaciela. Decyzje te po zatwierdzeniu przez

dowódcę korpusu są realizowane w procesie działań bojowych przez ogniwa wykonawcze PW SOPKT /dywizjony, eskadry, krt/



— strumień informacji  
≡ strumień decyzji

Rys. 1.4. Cybernetyczny model systemu obrony powietrznej wojsk OPK na szczeblu taktycznym.

Strumień decyzji przychodzący z zewnątrz do SOPRT obejmuje decyzje dowódcy korpusu odnośnie zwalczania poszczególnych celów nieprzyjaciela powietrznego. Strumień informacyjny przychodzący z otoczenia do SOPRT dotyczy w głównej mierze sił przeciwnika powietrznego i jego nalotu. Strumień informacyjny wychodzący z SOPRT do otoczenia obejmuje informacje o efektach działań bojowych, poniesionych stratach oraz potrzebach materiałowo-technicznego zaopatrzenia.

Nawiązując do definicji systemu określonej wyrażeniem

/1.10/ SOPKT można przedstawić jako piątkę uporządkowaną:

$$\langle M, R, X, T, Z \rangle,$$

której poszczególne wielkości przedstawiają:

- M - zbiór elementów obejmujących obiekty systemu takie jak: PłSD z rozwiniętymi na nim SD BAR, SD plm, SD brt, dywizjony raketowe OPK, samoloty bojowe pułku lotnictwa myśliwskiego, posterunki radiolokacyjne wojsk radiotechnicznych, punkty naprowadzania LM;
- R - zbiór relacji określony na zbiorze M przedstawiający strukturę organizacyjno-funkcjonalną, przestrzenno-czasową oraz informacyjną SOPKT;
- X - zbiór stanów elementów systemu określony na zbiorze M tworzący przestrzeń stanów dopuszczalnych tych elementów;
- T - zbiór chwil czasowych obejmujący przedział czasu od chwili  $t_{pn}$  początkującej nalot do chwili  $t_{kn}$  traktowanej jako jego zakończenie;
- Z - zbiór zdarzeń określony na zbiorze T, których wystąpienie w czasie od  $t_{pn}$  do  $t_{kn}$  powoduje zmianę stanu systemu.

Celem zasadniczym zdefiniowanego wyżej systemu jest wykonanie zadania bojowego, postawionego przez dowódcę korpusu. Zadanie takie w większości przypadków sprawadza się do obrony osłanianych obiektów lub kierunków podejścia do obiektów znajdujących się w głębi ugrupowania korpusu,

przed rozpoznaniem i uderzeniami z powietrza przez ŚNP nieprzyjaciela. Dla jego realizacji wydzielone zostały odpowiednie siły i środki, zorganizowane w oddziały wojsk raketowych, lotnictwa myśliwskiego i wojsk radiotechnicznych, których dowództwa rozmieszczone na stanowiskach dowodzenia odpowiednich rodzajów wojsk zgrupowanych na PłSD.

PłSD, zorganizowane na bazie zautomatyzowanego batalionu radiotechnicznego, obejmuje SD BAR, SD płm i SD brt. Tu dokonuje się analizy możliwości zwalczania poszczególnych celów przez środki aktywne będące w dyspozycji dowódców. Na podstawie dokonanej analizy przydzielane zostają te środki, które posiadają w danej chwili najkorzystniejsze warunki skutecznego oddziaływania na wskazany cel.

Wypracowana decyzja jest następnie przekazywana do wykonawców, gdzie następuje jej realizacja. Cel cząstkowy działalności osób funkcyjnych na PłSD podporządkowany jest celowi zasadniczemu i można go określić w sposób następujący: dokładne i szybkie przeprowadzenie analizy możliwości użycia środków aktywnych do walki ze wskazanymi celami oraz szybkie podjęcie decyzji i przekazanie jej do wykonawców.

Jak wynika z określonego wyżej celu, czynnikiem decydującym o efektywności działań bojowych środków walki jest czas otrzymania zadania bojowego stawianego przez odpowiedniego dowódcę. W związku z tym w modelu należy uwzględnić możliwość przebadania następującego problemu:

= wpływ czasu wypracowania decyzji na PłSD do użycia środków aktywnych w walce z ŚNP nieprzyjaciela oraz czasu przekazania jej do wykonawców na wynik ich działań bojowych.

Dywizjony ogniowe artylerii raketowej zorganizowane są w oddział wojsk raketowych - brygadę wojsk raketowych OPK /BAR OPK/.

BAR OPK może być wyposażona w przeciwlotnicze zestawy raketowe typu S-75M /WOLCHOW/, SA-75 /DŻWINA/, oraz S-125 /NEWA/ i na zadanie niszczyć pilotowane i niektóre z bezpilotowych ŚNP nieprzyjaciela broniąc z powietrza osłanianych obiektów lub kierunków wyprowadzających na obiekty położone w głębi [23]. Jako elementy wykonawcze systemu -dr OPK przyjmują zadania na zwalczanie celów z SD BAR rozmieszczonego na PłSD i przystępują do ich realizacji. W związku z powyższym są one wyposażone w odpowiedni sprzęt łączności z PłSD oraz organiczne środki radiotechniczne wstępnego poszukiwania /RSWP/ i naprowadzania raket na cel /SNR/. Po wykryciu wskazanego z SD celu przechwytyją go i niszczą odpowiednią ilością raket. Wyniki strzelania meldują na PłSD i przystępują do odtwarzania gotowości bojowej.

Celem ich działalności jest zniszczenie maksymalnej ilości ŚNP nieprzyjaciela wskazanych z PłSD i szybkie odtwarzanie gotowości bojowej. Stąd wynikają następujące problemy, których przebadanie należy uwzględnić w modelu ich działań bojowych.

1. Wpływ ugrupowania dr względem założonego modelu nalotu ŚNP nieprzyjaciela na rezultat ich strzelania.
2. Wpływ nierównomiernego obciążenia walką dr na wyniki ich walki.

3. Wpływ czasu oddwarzania gotowości bojowej na rezultaty działań.

4. Wpływ zakłóceń stosowanych przez przeciwnika na rezultaty działań.

Pułk lotnictwa myśliwskiego /plm/ ma zadanie zwalczać w powietrzu na określonych kierunkach i rubieżach ŚNP nieprzyjaciela. Najczęściej plm prowadzi działania bojowe z dwóch lotnisk i może je prowadzić z dyżurowania na lotnisku lub w powietrzu. Sposób prowadzenia działań bojowych przez plm zależy od możliwości wprowadzenia samolotów do walki na potrzebnej /nakazanej/ rubieży wprowadzenia /PRW/. W rozważaniach nad tym zagadnieniem dąży się do rozwiązań umożliwiających prowadzenie działań z dyżurowania na lotniskach. Jednakże w przypadku, gdy nie ma takiej możliwości ze względu na opóźnienie informacji radiolokacyjnej wybiera się sposób z dyżurowania w powietrzu ze stref dyżurowania rozmieszczonych na PRW. Obydwa sposoby prowadzenia działań bojowych przez plm przewidują pełne zabezpieczenie w informację radiolokacyjną tak ogólną jak i dokładną.

Celem działań bojowych lotnictwa jest skuteczne niszczenie ŚNP nieprzyjaciela, w rejon których zostały wyprowadzone.

Problemy, których przebadanie należy uwzględnić w modelu działań bojowych lotnictwa to:

1. Wpływ położenia lotnisk i stref dyżurowania względem przewidywanego nalotu ŚNP na wyniki walki.
2. Wpływ dokładności naprowadzania samolotów plm na skuteczność walki lotnictwa.

#### 4. Wpływ ilości oddziaływań samolotów na cele na wynik działań bojowych lotnictwa.

Działania bojowe środków walki w sektorze odpowiedzialności PłSD zabezpieczane są pod względem radiolokacyjnym przez elementy ugrupowania batalionu radiotechnicznego /brt/.

Podstawą prowadzenia działań bojowych przez brt jest pole radiolokacyjne składające się ze stref wykrywania kompanii radiotechnicznych /krt/ wchodzących w skład jego ugrupowania. Kompanie te są poddziałami taktycznymi wojsk radiotechnicznych i stanowią pierwotne źródło informacji radiolokacyjnej o sytuacji powietrznej. Zasadniczym ich zadaniem jest prowadzenie radiolokacyjnego rozpoznania i przekazywania zbieranej informacji do SD batalionu.

Na bazie niektórych kompanii radiotechnicznych tworzone są punkty naprowadzania lotnictwa myśliwskiego.

Stopień realizacji radiolokacyjnego wykrywania, śledzenia obiektów powietrznych oraz naprowadzania lotnictwa na cele powietrzne w krt zależy między innymi od wytworzonego przez jej środki pola radiolokacyjnego. Na pole to składają się strefy wykrywania stacji radiolokacyjnych, w które jest wyposażona kompania.

Problemy z zakresu działalności krt, których przebadanie należy uwzględnić w modelu ich działań bojowych, to:

1. Wpływ ugrupowania poszczególnych krt na możliwości wykrycia obiektów powietrznych.
2. Wpływ różnorodności sprzętu w krt pod względem typów RLS na skuteczność wykrywania obiektów.

3. Wpływ zakłóceń stosowanych przez nieprzyjaciela powietrznego na ilość wykrytych obiektów.
4. Wpływ stosowania środków automatyzacji na stopień zabezpieczenia działań bojowych środków walki.

Punkty naprowadzania LM, jak już było wspomniane, rozwijane są na bazie niektórych kompanii radiotechnicznych. Najczęściej rozwijane są trzy punkty naprowadzania: GPN - na bazie kompanii miejscowej oraz dwa WPN na bazie kompanii najbardziej wysuniętych w kierunku spodziewanego nalotu ŚNP nieprzyjaciela.

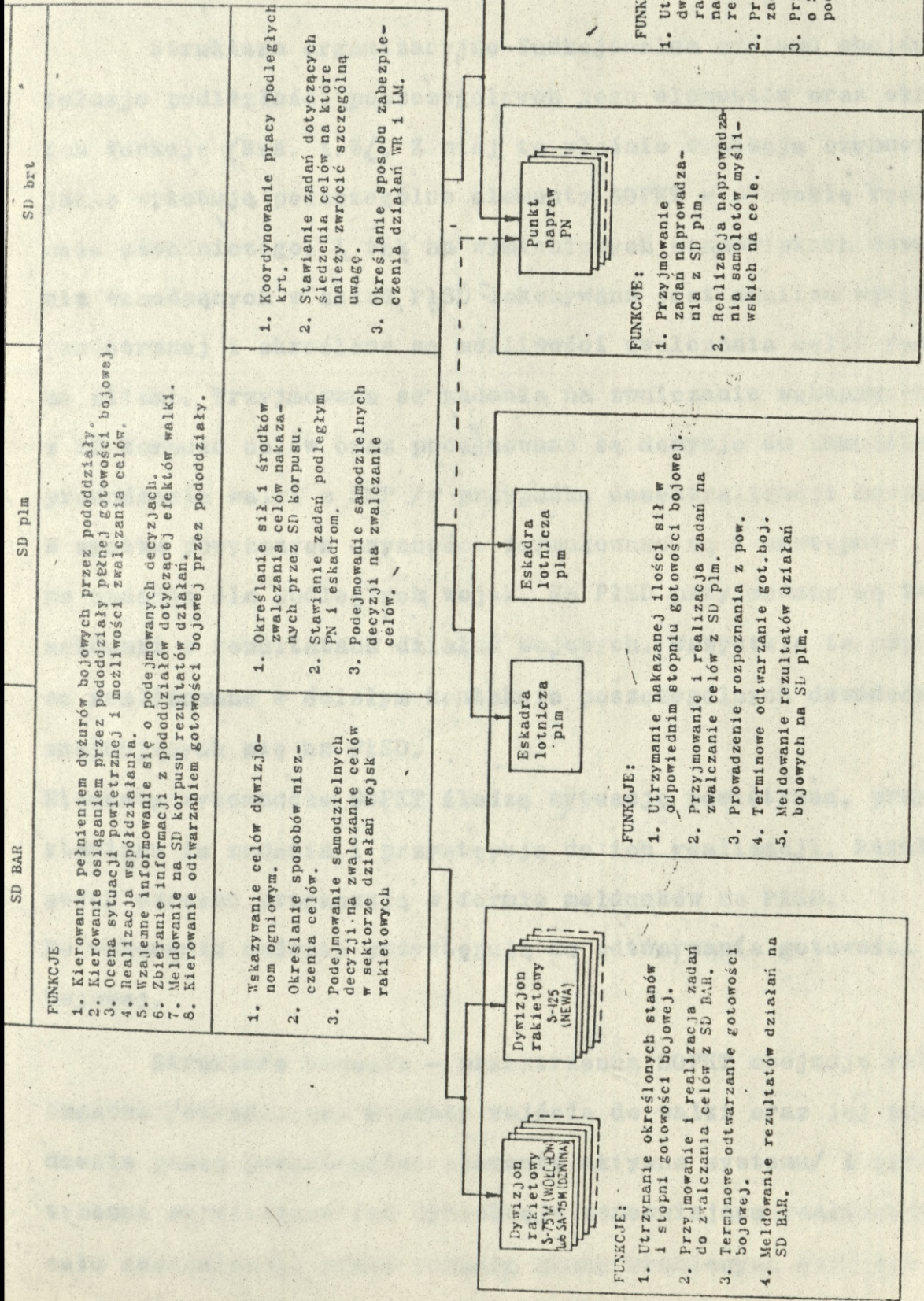
Punkty naprowadzania realizują naprowadzanie samolotów myśliwskich na zidentyfikowane cele powietrzne.

Celem ich działalności jest dokładne naprowadzenie myśliwców na wskazany, z PISD cel powietrzny na określonej rubieży PRW.

Wynikające stąd problemy do przebadania, w modelu ich działań bojowych, można określić następująco:

1. Wpływ dokładności naprowadzania na jego skuteczność.
2. Wpływ zakłóceń RES wykorzystywanych do naprowadzania na dokładność naprowadzania.

Dokonana wyżej analiza poszczególnych elementów systemu umożliwiła sprecyzowanie celów - zasadniczego i cząstkowych oraz określenie problemów, których rozwiązanie należy przewidzieć w modelu symulacyjnym. Na bazie tej analizy uwidaczniają się pewne powiązania funkcjonalne, czynnościowe, przestrzenno-czasowe oraz informacyjne pomiędzy elementami systemu, co pozwala określić zbiór relacji /R/. Zbiór ten przedstawia



Rys. 1.5. Struktura organizacyjno-funkcyjna SFPKT.

strukturę organizacyjno-funkcjonalną, przestrzenno-czasową i informacyjną SOPKT.

Struktura organizacyjno-funkcjonalna systemu obejmuje relacje podległości poszczególnych jego elementów oraz określa ich funkcje /Rys. 1.5/. Z niej to właśnie wynikają czynności jakie wykonują poszczególne elementy SOPKT w procesie realizacji celu zasadniczego. I tak na wymienionych stanowiskach dowodzenia wchodzących w skład PłSD dokonywana jest analiza sytuacji powietrznej i określane są możliwości zwalczania celów podległymi siłami. Przyjmowane są zadania na zwalczanie wskazanych z SD korpusu celów oraz podejmowane są decyzje do samodzielnego prowadzenia walki z ŚNP /w przypadku decentralizacji dowodzenia/. W wyniku powyższych czynności formułowane są i następnie stawiane zadania dla podległych wojsk. Na PłSD przyjmowane są też meldunki o rezultatach działań bojowych. Wszystkie te czynności są realizowane w ścisłym kontakcie poszczególnych dowódców znajdujących się na PłSD.

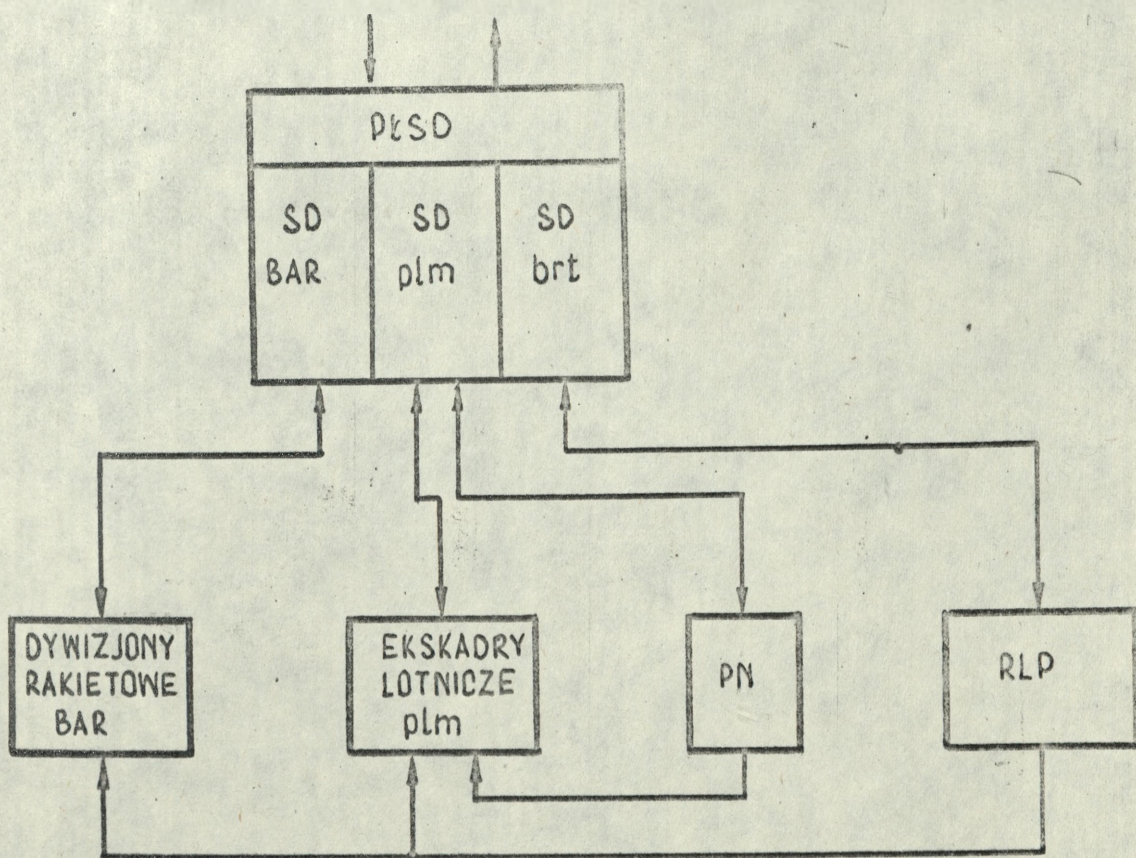
Elementy wykonawcze SOPKT śledzą sytuację powietrzną, przyjmują stawiane im zadania i przystępują do ich realizacji. Rezultaty swych działań przekazują w formie meldunków na PłSD.

Po wykonaniu zadania przystępują do odtwarzania gotowości bojowej.

Struktura czasowo - przestrzenna SOPKT obejmuje relacje czasowe /określające momenty wejścia do walki oraz jej prowadzenia przez poszczególne elementy aktywne systemu/ i przestrzenne określające ich dyslokację zapewniającą realizację celu zasadniczego przed rubieżą ataku bronionych obiektów lub na dalekich podejściach na kierunkach wyprowadzających na

obiekty połączone w głębi. Obliczenia związane z wyznaczeniem poszczególnych elementów ugrupowania środków aktywnych SOPKT można znaleźć w literaturze [6], [23], [35], [52] i [60].

Struktura informacyjna SOPKT obejmuje powiązania informacyjne pomiędzy poszczególnymi jego elementami i otoczeniem /rys. 1.6/. Informacje przesyłane są z SD korpusu na PłSD i dotyczą one zadań oraz oceny przeciwnika. W relacji PłSD - SD korpusu wysyłane są informacje dotyczące zadań i gotowości bojowej. Zwrotnie natomiast przekazywana jest informacja o sytuacji powietrznej i wyniki działań bojowych. RLP dodatkowo zabezpieczają w pierwotną informację radiolokacyjną poszczególne elementy wykonawcze systemu.



Rys. 1.6. Struktura informacyjna SOPKT.

Przestrzeń stanów systemu wyznaczają stany dopuszczalne poszczególnych jego elementów. Spośród wszystkich stanów dopuszczalnych wspomnianych elementów SOPKT zostały wybrane te, które interesują mnie z punktu widzenia celu pracy.

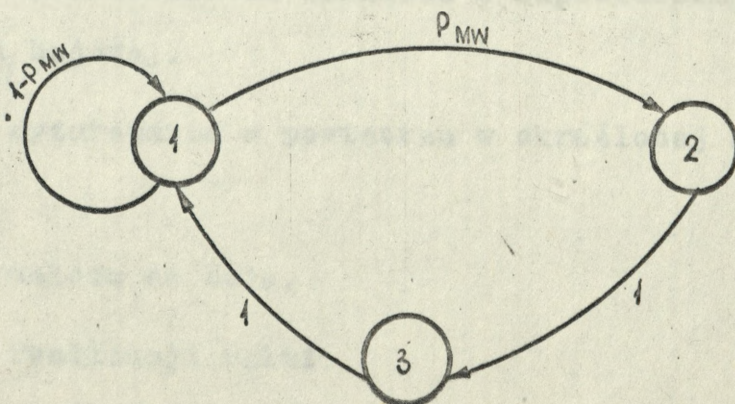
I tak PłSD może znajdować się w trzech następujących stanach.

1. Stan analizy sytuacji powietrznej.
2. Stan podejmowania decyzji o użyciu środków walki.
3. Stan stawiania zadań elementom wykonawczym.

W stanie nr 1 na PłSD dokonywana jest ciągła analiza możliwości użycia sił do walki. W przypadku gdy spełnione będą warunki na prowadzenie walki przez którykolwiek z elementów wykonawczych SOPKT, PłSD przechodzi w stan podejmowania decyzji z prawdopodobieństwem  $P_{MW}$  - możliwość prowadzenia walki.

W stanie tym /nr 2/, rozważany jest optymalny przydział środków walki do celów, możliwych do zwalczania. Po dokonaniu przydziału, PłSD przechodzi w stan stawiania zadań /nr 3/ a następnie z powrotem w stan nr 1.

Proces przechodzenia PłSD w kolejne stany przedstawia graf zilustrowany na rys. 1.7.



Rys. 1.7. Graf przechodzenia PłSD SOPKT w kolejne stany.

Luki grafu reprezentują zdarzenia, pod wpływem których następuje zmiana stanu.

Każdy dr może znajdować w następujących wyróżnionych stanach.

1. Stan gotowości do prowadzenia ognia i śledzenia sytuacji powietrznej.
2. Stan prowadzenia ognia do celu.
3. Stan odtwarzania gotowości bojowej.

W stanie nr 1 dr śledzi sytuację powietrzną i przyjmuje zadania na zwalczanie celów.

Po przyjęciu zadania przechodzi w stan nr 2.

W stanie tym odpala odpowiednią ilość rakiet i przechodzi do stanu nr 3 z którego z powrotem wraca do stanu 1. Graf przechodzenia w kolejne stany będzie identyczny jak na rys.

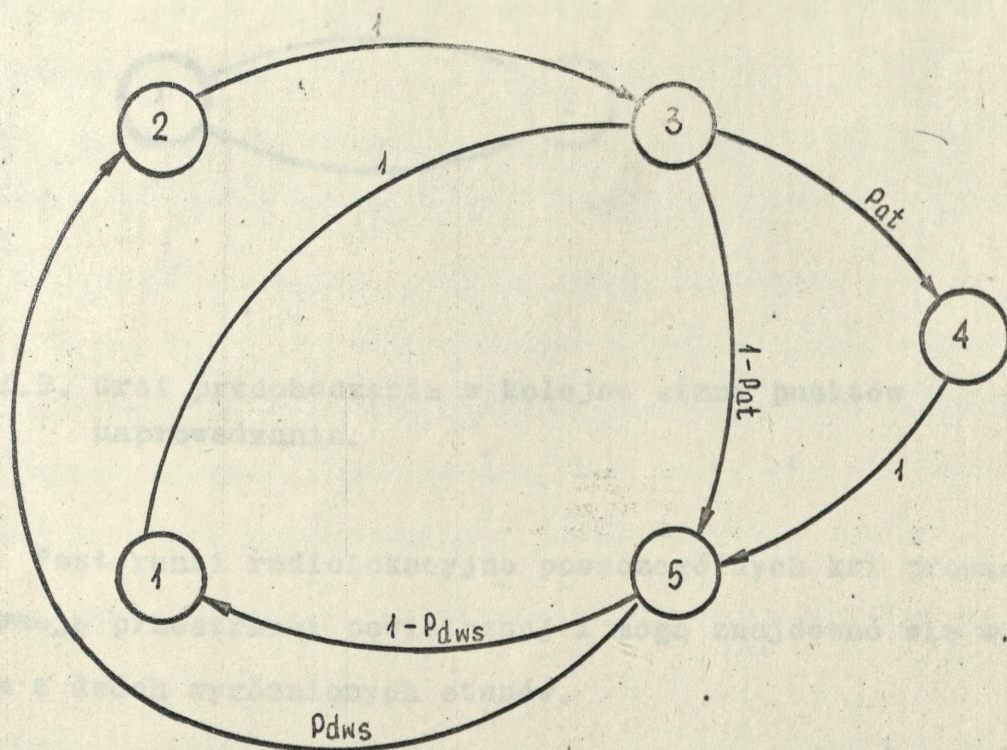
1.7, z tą różnicą że  $P_{MW}$  zostanie zastąpione  $P_{oo}$  - prawdopodobieństwem otwarcia ognia.

Samoloty bojowe lotnictwa myśliwskiego podczas działań bojowych mogą znajdować się pięciu wyróżnionych stanach.

1. Stan dyżurowania na lotnisku w odpowiednim stopniu gotowości bojowej.
2. Stan dyżurowania w powietrzu w określonej strefie dyżurowania.
3. Stan dolotu do celu.
4. Stan realizacji walki.
5. Stan powrotu na lotnisko bazowania i odtwarzania gotowości bojowej.

W stanach nr 1 lub 2 samoloty znajdują się przed przyjęciem zadania bojowego z SD plm.

Po otrzymaniu zadania przechodzą w stan nr 3 skąd następnie mogą przejść w jeden ze stanów - 4 lub 5. W stan nr 4 przechodzą z prawdopodobieństwem  $P_{at}$  - prawdopodobieństwo wyjścia do ataku, natomiast w stan nr 5 z prawdopodobieństwem  $1 - P_{at}$ . Ze stanu o numerze 4 zawsze przechodzą w stan nr 5, z którego po odtworzeniu gotowości bojowej przejdą do stanu 2 z prawdopodobieństwem decyzji wyjścia do strefy  $P_{dws}$  lub 1 z prawdopodobieństwem  $1 - P_{dws}$ . Proces przechodzenia samolotów myśliwskich do poszczególnych stanów przedstawia graf na rys. 1.8.

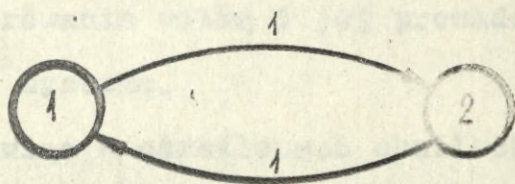


Rys. 1.8. Graf przechodzenia samolotów lotnictwa myśliwskiego w kolejne stany.

Punkty naprowadzania lotnictwa myśliwskiego na cel w procesie działań bojowych mogą przebywać w dwóch wyróżnionych stanach.

1. Stan śledzenia sytuacji powietrznej.
2. Stan naprowadzania samolotów myśliwskich na cele.

W stanie nr 1 nawigatorzy na punktach naprowadzania śledzą sytuację powietrzną. Po postawieniu im zadania rozpoczynają naprowadzanie przechodząc w stan nr 2. Po dokonaniu naprowadzenia z powrotem wracają do stanu wyjściowego. Graf przechodzenia ze stanu 1 do 2 obrazuje rys. 1.9.



Rys. 1.9. Graf przechodzenia w kolejne stany punktów naprowadzania.

Posterunki radiolokacyjne poszczególnych krt prowadzą obserwację przestrzeni powietrznej i mogą znajdować się w jednym z dwóch wyróżnionych stanów.

1. Stan śledzenia sytuacji powietrznej i przekazywania meldunków.
2. Stan wykrycia nowego obiektu.

Posterunki znajdujące się w stanie nr 1 śledzą sytuację powietrzną i przesyłają meldunki charakteryzujące obserwowane obiekty. W przypadku wykrycia nowego obiektu przechodzą do stanu 2, w którym ewidencjonują ten obiekt i z powrotem wracają do stanu nr 1 gdzie w kolejnym meldunku przesyłają dodatkowo informację o nim. Graf przechodzenia do poszczególnych stanów będzie podobny jak w przypadku punktów naprowadzania, z tą różnicą że przejście ze stanu nr 1 do 2 następuje z prawdopodobieństwem wykrycia nowego obiektu  $/P_w/$ .

Struktura czasowo-przestrzenna SOPKT wyznacza zbiór chwil czasowych  $T$ , w których począwszy od  $t_{pn}$  do  $t_{kn}$  zostaną spełnione warunki umożliwiające realizację poszczególnych etapów kierowania walką i jej prowadzenia przez elementy wykonawcze systemu.

Inaczej mówiąc w określonych chwilach czasu wystąpią zdarzenia, które będą zmieniały stany elementów systemu.

W SOPKT w oparciu o zbiór chwil czasowych  $T$ , w przedziale czasu  $t_{pn} \div t_{kn}$  można określić pewien zbiór zdarzeń. Z punktu widzenia celu niniejszej pracy wyróżnione zostały następujące zdarzenia mogące wystąpić w procesie prowadzenia działań bojowych przez elementy zdefiniowanego systemu.

1. Obserwacja sytuacji powietrznej i wykrycie obiektu przez RLP.
2. Przyjęcie meldunku o celu na PłSD i jego odwzorowanie.
3. Analiza sytuacji powietrznej na PłSD i podjęcie decyzji o użyciu sił do walki.
4. Postawienie zadań dla plm.

5. Postawienie zadań dla dr OPK.
6. Wyprowadzenie samolotów myśliwskich na cel oraz prowadzenie walki.
7. Prowadzenie walki przez dr OPK.
8. Powrót samolotów myśliwskich na lotnisko i odtwarzanie gotowości bojowej.
9. Odtwarzanie gotowości bojowej przez dr OPK.

Każde z wyróżnionych zdarzeń występuje w określonej chwili  $t_z$  i trwa przez pewien czas określony charakterystykami czasowymi SOPKT. W czasie trwania określonego zdarzenia ulegają zmianie stany elementów systemu, których to zdarzenie dotyczy. Dokładna charakterystyka powyższych zdarzeń opisana jest w punkcie 2.3 rozprawy, a realizacja ich obsługi w rozdziale III.

Dokonana powyżej analiza systemu obrony powietrznej na szczeblu taktycznym wojsk OPK przedstawia jego działanie w procesie odpierania nalotu ŚNP nieprzyjaciela. Omówiono tu poszczególne elementy systemu, ich powiązania funkcjonalne oraz zdarzenia jakie mogą wystąpić podczas działań bojowych pozwalają przystąpić do konstruowania jego modelu symulacyjnego.

### 1.3. Wnioski.

Scharakteryzowane w punkcie 1.1. metody określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym, jak już wspomniałem we wstępie, rozwiązują problem w oderwaniu od wspólnego sektora działań bojowych jakim jest sektor

odpowiedzialności PłSD. Nie uwzględniają one dynamiki dowodzenia wojskami oraz ich walki

Określone za ich pomocą możliwości bojowe tych wojsk, obliczane są oddzielnie dla każdego z ich rodzajów - bez uwzględnienia powiązań między nimi, wynikających z działań bojowych prowadzonych wspólnie we wspomnianym sektorze odpowiedzialności PłSD. W związku z tym nie oddają one ich rzeczywistych możliwości w zakresie zwalczania ŚNP nieprzyjaciela w tym sektorze.

Zasygnalizowany wyżej problem można rozwiązać tylko za pomocą metody, która uwzględniłaby wspomniane czynniki i umożliwiła podejście do zagadnienia w sposób kompleksowy.

Jedną z nich jest przedstawiona w punkcie 1.2 metoda modelowania walki z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Metoda ta pozwala wygenerować stany elementów systemu, na który składają się siły i środki analizowanych wojsk wraz z ich wspólnym - połączonym stanowiskiem dowodzenia w procesie prowadzonych działań bojowych. Analiza tych stanów, tworzących historię stanów systemu, umożliwia określenie możliwości bojowych wspomnianych wojsk w zakresie oddziaływania na ŚNP nieprzyjaciela biorące udział w nalocie.

Zastosowanie w powyższej metodzie elektronicznej techniki obliczeniowej pozwala na wielowariantowe i wszechstronne przebadanie systemu w zakresie możliwości bojowych jego elementów. I chociaż nie jest to pierwsze rozwiązanie wspomnianego problemu z zastosowaniem programów na EMC, to jednak wyróżnia się ono od dotychczasowych kompleksowym ujęciem zagadnienia na tym szczeblu.

Dokonana w tym rozdziale analiza systemu wojsk OPK na szczeblu taktycznym /BAR, plm, brt/ stanowi podstawę opracowania rozdziału drugiego, którego treścią jest model symulacyjny walki tych wojsk.

## ROZDZIAŁ II

### 2. MODEL SYMULACYJNY WALKI SYSTEMU OBRONY POWIETRZNEJ NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM WOJSK OBRONY POWIETRZNEJ KRAJU.

Wychodząc z metodologii, omówionej w rozdziale pierwszym, analizy systemów po zrealizowaniu fazy analitycznej /obejmującej analizę zidentyfikowanego systemu wojsk OPK na szczeblu taktycznym/, przystępuję do realizacji fazy drugiej - koncepcyjnej.

Model symulacyjny systemu, powstały w wyniku jej realizacji, obejmował będzie opis logiczno-matematyczny zależności czasowo-przestrzennych charakteryzujących dynamikę prowadzonych działań bojowych oraz opis charakterystyk probabilistycznych związanych z nimi. Wspomniany wyżej model umożliwi wygenerowanie historii stanów systemu metodą kolejnych zdarzeń. Polega ona na chronologicznym opracowaniu wyróżnionych w systemie zdarzeń w kolejności ich występowania. Każde zdarzenie opisane jest czasem jego wystąpienia oraz zawiera zbiór elementów systemu, dla których dokonuje zmiany stanów i zapisywane jest do kalendarza zdarzeń. Obsługa kalendarza zdarzeń polega na pobieraniu z niego kolejnych zdarzeń począwszy od pierwszego a skończywszy na ostatnim i ich opracowaniu według określonego algorytmu. Wynikiem powyższych realizacji zdarzeń będzie historia stanów modelu, która interpretowana jako historia stanów systemu dostarczy danych do określenia możliwości bojowych poszczególnych jego elementów.

## 2.1. Założenia przyjęte w modelu.

System opisany w punkcie 1.3 stanowi podsystem większego systemu jakim jest korpus WOPK. Zadania, które on realizuje są więc częścią zadań realizowanych w korpusie. Decyzje o użyciu sił i środków BAR i plm do zwalczania ŚNP podejmowane są na SD korpusu OPK. Ich treść może być mniej lub bardziej szczegółowa. Dowódcy BAR i plm analizują na bieżąco sytuację powietrzną i w zależności od stopnia szczegółowości decyzji dowódcy korpusu, podejmują odpowiednie decyzje o użyciu podległych im wojsk i przekazują je bezpośrednio do wykonawców.

Ze względu na fakt, że środki walki będące w dyspozycji dowódców szczebla taktycznego prowadzą działania bojowe w oparciu o informację powietrzną zebraną na bazie zorganizowanego przez batalion radiotechniczny pola radiolokacyjnego w modelu przyjęto:

1. Zadania na zwalczanie ŚNP, w odpowiednim stopniu szczegółowości, stawia dowódca korpusu w oparciu o informację radiolokacyjną BRT.
2. Decyzje o czasie i miejscu użycia sił i środków BAR i plm, dowódcy szczebla taktycznego podejmują w oparciu o informację radiolokacyjną zebraną na PłSD.
3. Siły i środki omawianego szczebla taktycznego mają możliwość zwalczania wszystkich wykrytych przez brt celów.

Jak wynika z powyższych założeń, w modelu przyjmuje się, że analiza użycia sił i środków w określonym czasie i miejscu dokonywana jest w stosunku do wszystkich wykrytych przez brt celów. Zadania na ich zwalczanie stawiane są w zależności od wyników tej analizy, przyjmując jednocześnie, że są to zadania postawione przez dowódcę korpusu.

Pozostałe założenia, wynikające z opisu matematycznego procesu działań bojowych poszczególnych elementów systemu, omawiane będą przy opracowywaniu podpunktów dotyczących każdego z nich.

## 2.2. Model symulacyjny działań prowadzonych przez batalion radiotechniczny i podległe mu kompanie.

Podstawą do prowadzenia walki z ŚNP nieprzyjaciela przez rozważane wojska systemu SOPKT jest informacja radiolokacyjna, której dostarcza brt w oparciu o zorganizowane pole radiolokacyjne w sektorze odpowiedzialności PiSD.

W przyjętym w punkcie 1.2 systemie batalion radiotechniczny posiada odpowiednią ilość kompani radiotechnicznych, z których każda rozwija posterunek radiolokacyjny /RLP/. Na niektórych z wymienionych posterunków rozwinięte są punkty naprowadzania lotnictwa - GPN w kompanii miejscowej i WPN-y w kompaniach rozmieszczonych na kierunku spodziewanego nalotu ŚNP nieprzyjaciela. Posiadane przez batalion środki pozwalają utworzyć ciągle dwuwarstwowe pole wykrywania w granicach od bardzo małych wysokości do 2000 m dla pierwszej warstwy i od 2000 m do około 35000 m dla drugiej warstwy.

2.2.1. Wykrycie obiektu przez RLP i przesłanie meldunku do brt.

Każdy punkt radiolokacyjny opisany jest następującymi wielkościami.

$$RLP = N, W, R, I, T \quad /2.1/$$

gdzie:

N - numer taktyczny RLP;

W - współrzędne prostokątne RLP - X, Y;

R - rodzaj RLP;

R = 0 lub 10 - RLP wykrywania, niezautomatyzowany lub zautomatyzowany;

R = 1÷9 lub 11÷19 - RLP wykrywania i naprowadzania niezautomatyzowany lub zautomatyzowany. Cyfry 1÷9 lub /11-10/ ÷ /19-10/ oznaczają ilość kanałów naprowadzania

I - ilość stacji radiolokacyjnych /RLS/ na RLP;

T - typy stacji radiolokacyjnych.

Wykrycie obiektu przez RLP<sub>j</sub> /j = 1 ... IPR/ jest zdarzeniem losowym określonym prawdopodobieństwem:

$$P_{Wj} = 1 - \prod_{i=1}^{I_w} (1 - P_{Wi}), \quad /2.2/$$

gdzie:

I<sub>w</sub> - ilość RLS wykrywających na RLP<sub>j</sub>;

P<sub>wi</sub> - prawdopodobieństwo wykrycia obiektu przez RLS<sub>i</sub> na RLP<sub>j</sub>.

Wartość prawdopodobieństwa wykrycia obiektu przez RLS<sub>1</sub> wyraża zależność <sup>1/</sup>

$$P_{wL} = e^{-k \left( \frac{D}{D_{0.5}} \right)^4},$$

/2.3/

gdzie:

e - podstawa logarytmu naturalnego;

k - stały współczynnik przeliczeniowy /k = 0.69 dla D<sub>0.5</sub>/;

D<sub>0.5</sub> - odległość wykrywania obiektów powietrznych przez stację określonego typu przy prawdopodobieństwie wykrycia P<sub>w</sub> = 0.5;

D - - odległość obiektu od RLS.

Położenie obiektu generuje generator nalotu.

Jego odległość poziomą od analizowanej RLS na RLP<sub>j</sub> wyznaczyć można z zależności:

$$\bar{D} = \sqrt{(X_{RLS_L} - X_0)^2 + (Y_{RLS_L} - Y_0)^2} \quad /2.4/$$

gdzie:

X<sub>RLS<sub>L</sub></sub> Y<sub>RLS<sub>L</sub></sub> - współrzędne RLS<sub>1</sub> na pozycji RLP<sub>j</sub>;

X<sub>0</sub> Y<sub>0</sub> - współrzędne obiektu /patrz rys. 2.1/.

---

1. A. Adameczyk, S. Antezak: Możliwości wczesnego wykrycia obiektu powietrznego przez stacje radiolokacyjne. PWL i WOPK 10/76 s. 10.

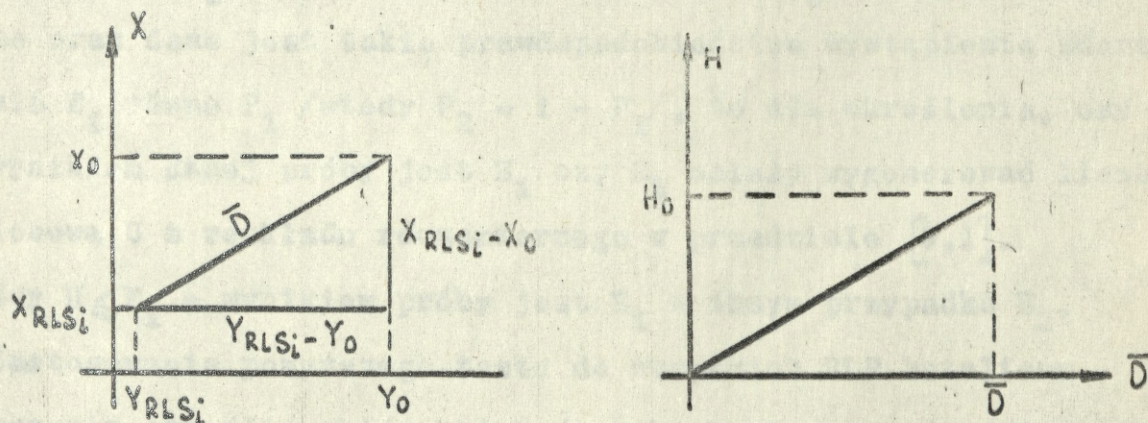
Natomiast odległość rzeczywistą  $D$  obiektu od rozpatrywanej  $RLS_1$  wyznacza zależność:

$$D = \sqrt{\bar{D}^2 + H_0^2} \quad /2.5/$$

gdzie:

$\bar{D}$  - obliczona z /2.4/ odległość pozioma;

$H_0$  - wysokość obiektu /patrz rys. 2.1/.



Rys. 2.1. Określanie odległości rzeczywistej obiektu do  $RLS_1$  na pozycji  $RLP_j$ .

Odległość wykrycia obiektu z prawdopodobieństwem  $P_w = 0.5$  / $D_{0.5}$ / określają charakterystyki poszczególnych typów stacji radiolokacyjnych przedstawione w danych taktyczno-technicznych.

Podstawienie wyżej określonych wartości  $D$  i  $D_{0.5}$  do zależności /2.3/ pozwala obliczyć prawdopodobieństwo wykrycia obiektu przez  $RLS_1$  na dowolnej odległości wykrywania. Obliczone w powyższy sposób prawdopodobieństwa wykrycia obiektu  $P_{wi}$  dla wszystkich stacji wykrywających na  $RLP_j$  i podstawione do /2.2/, określają prawdopodobieństwo jego wykrycia przez dany posterunek.

Fakt wykrycia obiektu przez RLP rozstrzygany jest w modelu testem Bernoulliego. Istota tej metody polega na tym, że jeżeli mamy dwa zdarzenia  $E_1$  i  $E_2$ , gdzie w tym przypadku zdarzenie  $E_1$  oznacza wykrycie obiektu, a  $E_2$  zdarzenie przeciwne oraz dane jest także prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia  $E_1$  równe  $P_1$  /wtedy  $P_2 = 1 - P_1$ /, to dla określenia, czy wynikiem danej próby jest  $E_1$  czy  $E_2$  należy wygenerować liczbę losową  $U$  z rozkładu równomiernego w przedziale  $[0,1]$ .

Gdy  $U \leq P_1$  - wynikiem próby jest  $E_1$  w innym przypadku  $E_2$ .

Zastosowanie powyższego testu do wszystkich RLP batalionu pozwala określić zbiór obiektów wykrytych przez środki radiolokacyjne tego brt.

Informacja o wykrytych przez RLP obiektach powietrznych przekazywana jest do SD batalionu w postaci meldunków o następującej strukturze.

NN WSP GR H

gdzie

NN - numer obiektu nadany przez  $RLP_j$ ;

WSP - współrzędne X Y przeliczone ze wsp. TDB w krt;

GR - rozpoznanie i skład obiektu;

H - wysokość lotu obiektu.

Informacja radiolokacyjna z RLP do SD batalionu może być przekazywana i zobrazowana w systemie zautomatyzowanym lub niezautomatyzowanym od sposobu przekazywania i zobrazowania informacji radiolokacyjnej w głównej mierze zależy jej dokładność oraz czas opóźnienia, który w modelu odzwierciany jest opóźnieniem informacji radiolokacyjnej w relacji RLP - SD brt i zadawany jest parametrycznie przy opisie charakterystyki poszczególnych posterunków.

Uwzględnienie tego faktu ma kapitalne znaczenie podczas prowadzenia analizy możliwości użycia sił i środków OPK na szczeblu P&SD.

### 2.2.2. Wpływ zakłóceń czynnych stosowanych przez przeciwnika powietrznego na wykrywanie obiektów przez RLP.

Współczesne działania lotnictwa nieprzyjaciela charakteryzuje stosowanie przez niego różnego rodzaju zakłóceń. Zakłócenia te w znacznym stopniu utrudniają walkę z SNP nieprzyjaciela z powodu zmniejszenia ilości i pogorszeniem jakości informacji radiolokacyjnej. Skuteczność stosowanych zakłóceń może być scharakteryzowana stopniem zmniejszenia prawdopodobieństwa wykrycia obiektu. Przedstawiony poniżej sposób umożliwi określenie tego wskaźnika.

Prawdopodobieństwo wykrycia obiektu przez RLP<sub>j</sub> określone zależnością /2.2/ zależy od ilości pracujących RLS, z których

każda wykrywa z prawdopodobieństwem  $P_{wi}$ . W przypadku stosowania zakłóceń niektóre z RLS zostaną wyeliminowane ze zbioru stacji obserwujących. Stan ten spowoduje spadek prawdopodobieństwa wykrycia obiektu przez RLP<sub>j</sub>.

Fakt wykrywalności obiektu lub jego nie wykrycia przez RLS<sub>1</sub> można określić analitycznie ze stosunku mocy sygnałów zakłócającego  $P_z$  i odbitego od obiektu  $P_s$  na wejściu odbiornika analizowanej RLS<sub>1</sub> [44] wyrażonego zależnością:

$$k = \frac{P_z}{P_s} \quad \text{we}$$

W przypadku, gdy  $k > k_d$  RLS<sub>1</sub> jest w stanie wykryć cel.

Współczynnik  $k_d$  jest to taka wartość stosunku mocy sygnału zakłócającego do sygnału użytecznego, przy którym stacja zostaje skutecznie zakłócona. Nosi on nazwę współczynnika degradacji i jest funkcją parametrów nadajnika zakłóceń i zakłóconej RLS. Wakin i Szustow w swej pracy [50] podali zależność na obliczenie wartości współczynnika  $k$ , która ma następującą postać

$$K = \frac{P_z G_z 4 \pi D_s^4}{P_s G_s \sigma_c D_z^2} F^2(\Theta_s, \Phi_s) \frac{\Delta f_0}{\Delta F_z} \gamma_z \cdot 10^{0.1 \Delta (2D_s - D_z) / 2.6}$$

gdzie:

$P_z, G_z$  - moc nadajnika zakłóceń i zysk antenowy jego anteny;

$P_s, G_s$  - moc zakłóconej RLS i zysk antenowy jej anteny;

$D_s$  - odległość maskowanego samolotu od RLS;

$\sigma_c$  - powierzchnia skuteczna maskowanego samolotu;

$D_z$  - odległość źródła zakłóceń;

$F(\Theta_s, \Phi_s)$  - funkcja opisująca znormalizowaną charakterystykę kierunkową RLS;

$\Delta f_0$  - szerokość pasma przepuszczania liniowej części odbiornika RLS;

$\Delta F_z$  - efektywna szerokość widma sygnału zakłócającego;

$\gamma_z$  - współczynnik uwzględniający różnicę w polaryzacji anten nadajnika zakłóceń i RLS;

$\mathcal{L}$  - współczynnik uwzględniający osłabienie sygnału w atmosferze.

Zakładając, że współczynnik propagacji fal  $\mathcal{L} \cong \Phi$  i to, że przeciwnik będzie dążył do tego, aby antena nadajnika zakłóceń była spolaryzowana w przybliżeniu tak samo jak anteny RLS ( $\gamma \cong 1$ ), zależność /2.6/ przyjmie postać.

$$K = \frac{P_z G_z 4\pi D_s^4}{P_s G_s \sigma_c D_z^2} F_0^2(\Theta_s, \Phi_s) \frac{\Delta f_0}{\Delta F_0} \quad /2.7/$$

Ponieważ najczęściej  $\frac{\Delta f_0}{\Delta F_0} \cong 1$ , więc można ten element pominąć.

Ważną rolę odgrywa tu zależność współczynnika  $k$  od kąta kursowego samolotu zakłócającego w stosunku do RLS. Zależność tę można uwzględnić wprowadzając funkcję opisującą znormalizowaną charakterystykę kierunkową stacji zakłócającej.

$$F_n(\Theta_z, \mathcal{L}_i)$$

gdzie:

$\mathcal{L}_i$  - kąt kursowy samolotu zakłócającego w stosunku do RLS.

Tak więc ostateczna postać zależności współczynnika  $k$  przedstawia się następująco

$$k = \frac{P_z G_z 4\pi D_s^4}{P_s G_s \sigma_c D_z^2} F_n^2(\theta_z, \mathcal{L}_i) F_o^2(\theta_s, \bar{\Phi}_s) \quad /2.8/$$

W przypadku gdy nadajnik zakłócający znajduje się na maskowanym samolocie zależność /2.8/ ma postać

$$k = \frac{P_z G_z 4\pi}{P_s G_s \sigma_c} D_z^2 F_n^2(\theta_z, \mathcal{L}_i) \quad /2.9/$$

gdzie  $F_o^2(\theta_s, \bar{\Phi}_s) = 1$

Funkcje  $F_o^2(\theta_s, \bar{\Phi}_s)$  i  $F_n^2(\theta_z, \mathcal{L}_i)$  aproksymują znormalizowane charakterystyki kierunkowe odbiornika RLS<sub>i</sub> oraz nadajnika zakłóceń i można je określić w następujący sposób

$$F_o^2(\theta_s, \bar{\Phi}_s) = \frac{1}{1 + \frac{4}{\theta_s} \cdot \Delta \bar{\Phi}_s^2} ;$$

$$F_n^2(\theta_z, \mathcal{L}_i) = \frac{1}{1 + \frac{4}{\theta_z} \mathcal{L}_i^2} ;$$

gdzie:

$\theta_s$  - szerokość wiązki sygnału RLS<sub>i</sub> na połowie mocy;

$\Delta \bar{\Phi}_s$  - różnica azymutów z RLS<sub>i</sub> na obiekt maskowany i z RLS<sub>i</sub> na źródło zakłóceń;

$\Theta_2$  - szerokość wiązki sygnału źródła zakłóceń na połowie mocy sygnału;

$L_i$  - kąt kursowy samolotu zakłócającego w stosunku do RLS<sub>1</sub>.

Wyznaczony z zależności /2.8/ lub /2.9/ współczynnik  $k$ , porównany ze współczynnikiem  $k_d$  dla określonej RLS pozwoli stwierdzić, czy istnieje możliwość wykrycia przez tę radiostację osłanianego obiektu. Zastosowanie tej procedury do wszystkich RLS na każdym RLP umożliwi wyznaczenie prawdopodobieństw wykrycia obiektów w zakłóceniach.

### 2.3. Model symulacyjny czynności realizowanych na połączonym stanowisku dowodzenia /PISD/.

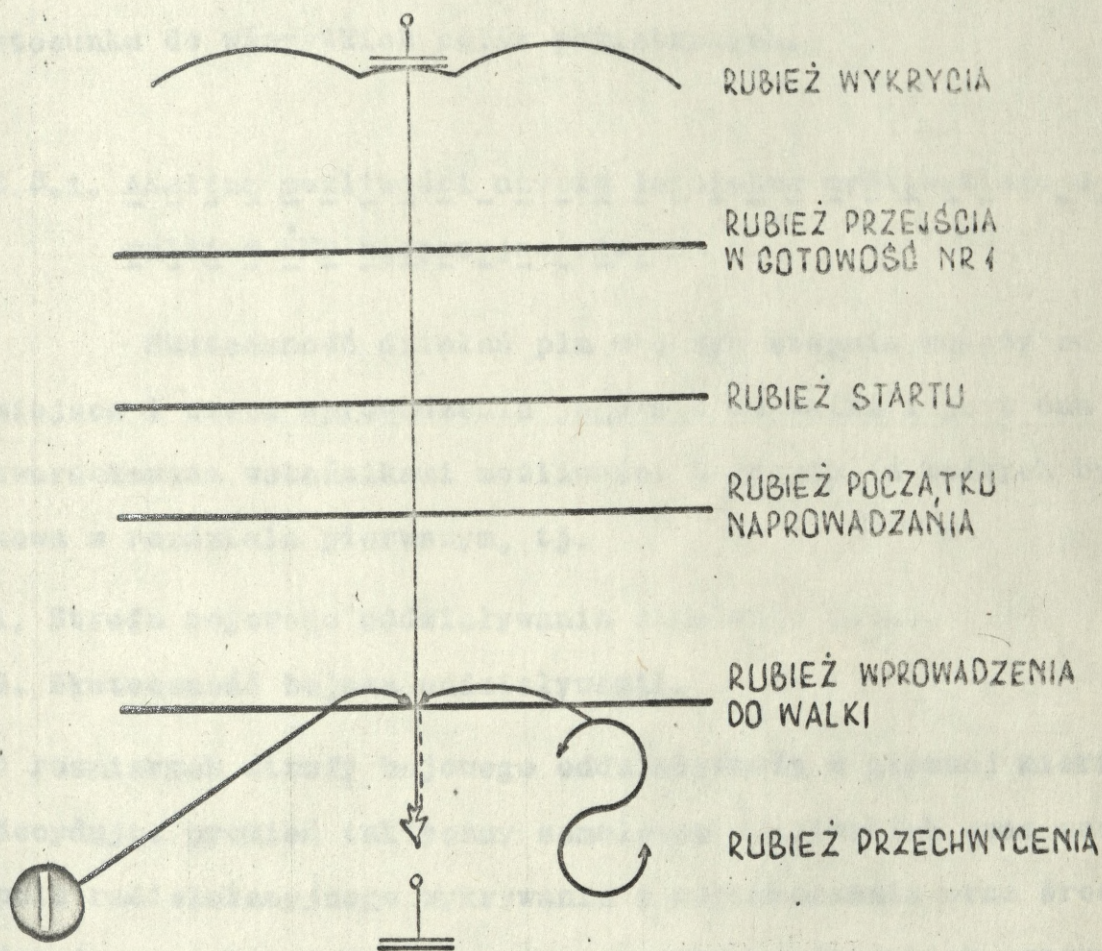
Połączone stanowisko dowodzenia obejmuje stanowiska dowodzenia BAR, plm i brt. Jak już wspomniano dokonywana tu jest analiza możliwości realizacji postawionego przez dowódcę korpusu zadania, odnośnie zwalczania nakazanego celu przez poszczególne środki walki w sektorze odpowiedzialności tego PISD.

Analizując możliwości użycia lotnictwa myśliwskiego i wojsk raketowych, uwzględnia się czasy opóźnienia informacji radiolokacyjnej i czas potrzebny na podjęcie decyzji.

Rzeczywiste położenie celu będzie więc przesunięte w stosunku do położenia określonego w ostatnim meldunku, w kierunku jego lotu, o odcinek

$$S = V_c / T_{op} + T_{pas} / .$$

Lotnictwo jest w stanie oddziaływać na cel w przypadku gdy jego położenie rzeczywiste nie przekroczy rubieży początku naprowadzania związanej z rubieżami wprowadzenia samolotów myśliwskich do walki /rys. 2.2/.



Rys. 2.2. Rubieże taktyczno-nawigacyjne oddziaływania lotnictwa na SNP nieprzyjaciela.

Nie spełnienie powyższego warunku oznacza, że LM nie ma możliwości oddziaływania na dany cel. Należy również sprawdzić, czy możliwości takie mają WR.

Reasumując, treścią wspomnianej analizy dokonywanej na PłSD są obliczenia pozwalające podejmować decyzję o podziale wysiłku LM i WR do zwalczania poszczególnych celów powietrznych przy czym za kryterium przyjmuje się możliwości bojowe każdego z tych środków walki. Analiza ta prowadzona jest ciągle, w stosunku do wszystkich celów powietrznych.

### 2.3.1. Analiza możliwości użycia lotnictwa myśliwskiego do walki z ŚNP nieprzyjaciela.

Skuteczność działań płm w dużym stopniu zależy od miejsca i czasu wprowadzenia jego sił do walki i jest ona uwarunkowana wskaźnikami możliwości bojowych, o których była mowa w rozdziale pierwszym, tj.

1. Strefa bojowego oddziaływania samolotów pułku.
2. Skuteczność bojowa oddziaływania.

O rozmiarach strefy bojowego oddziaływania w głównej mierze decydują: promień taktyczny samolotów myśliwskich oraz zasięg pola radiolokacyjnego wykrywania i naprowadzania oraz środków dowodzenia. Promień taktyczny samolotów myśliwskich, rozumiany jako największa odległość od lotniska bazowania, na której mogą one wykonać zadanie i wrócić, zależy od typu samolotów, wariantu ich uzbrojenia i warunków lotu /wysokości, prędkości/. Zasięg pola radiolokacyjnego wykrywania i naprowadzania zorganizowanej na bazie rozwiniętych środków BRT w korpusie OPK pozwala na zwalczanie celów lotnictwem myśliwskim w całym rejonie działań bojowych korpusu. Natomiast w przypadku, gdy

plm działa w oparciu o informację radiolokacyjną z brt, jego strefa bojowego oddziaływania będzie ograniczona. Jak podaje S. Jakóbczyk w pracy [19], taktyczny promień działania samolotów myśliwskich jest średnio dwa razy większy niż zasięg środków dowodzenia.

Z tego też powodu rozważając możliwości bojowe plm na szczeblu taktycznym /w oparciu o połączone stanowisko dowodzenia/ strefa bojowego oddziaływania pułku ograniczona została do sektora obserwacji i dowodzenia brt. Jej wymiary określają współrzędne punktów naprowadzania  $X_{PN}$   $Y_{PN}$  i związane z nimi promienie zasięgu naprowadzania.

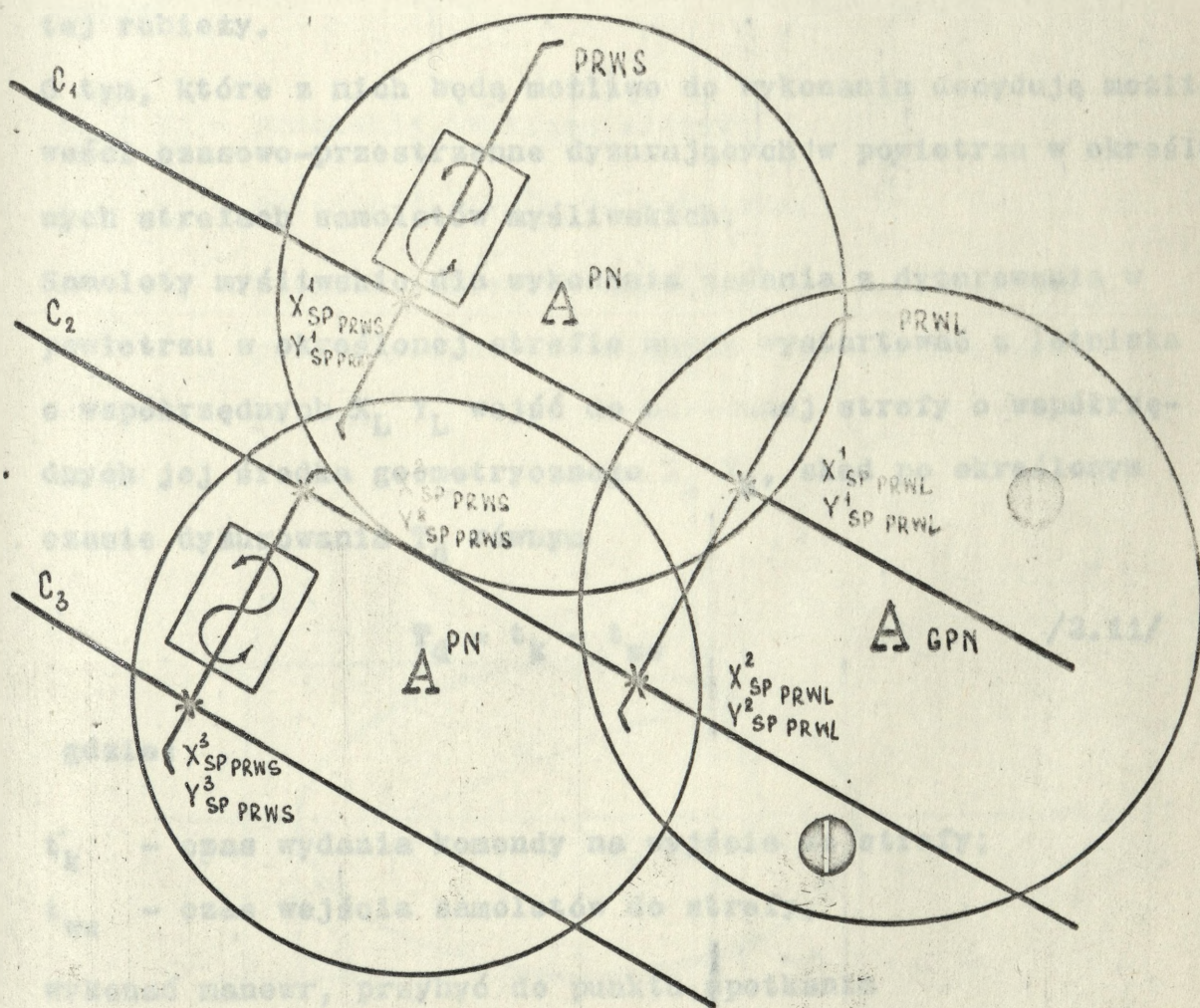
W tak rozumianej strefie działań bojowych plm przyjęte zostały pozostałe jej elementy tzn. rubieże wprowadzenia samolotów myśliwskich do walki /rys. 2.3/ z dyżurowania na lotnisku /PRWL/ i w powietrzu w określonej strefie /PRWS/. Każda z tych rubieży wyznacza dwa punkty o współrzędnych  $(X_1, Y_1)_{PRWL}$   $(X_2, Y_2)_{PRWL}$  oraz  $(X_1, Y_1)_{PRWS}$ ,  $(X_2, Y_2)_{PRWS}$  i równania prostych przechodzących przez te punkty, wyrażone ogólną zależnością:

$$\frac{X - X_{1R}}{X_{1R} - X_{2R}} = \frac{y - Y_{1R}}{Y_{1R} - Y_{2R}} \quad /2.10/$$

gdzie:

$X_{1R}, Y_{1R}$  i  $X_{2R}, Y_{2R}$  należą do zbioru punktów koła określonego równaniem okręgu  $(x - X_{PN})^2 + (y - Y_{PN})^2 = R_{PN}^2$  i oznaczają punkty jednej ze wspomnianych wyżej rubieży.

Na rubieży PRWS zaznaczone są dodatkowo środki geometryczne stref dyżurowania  $/X_G, Y_G/$ . W strefie bojowego oddziaływania plm leżą również lotniska, których położenie wyznaczają punkty o współrzędnych  $/X_L, Y_L/$ .



Rys. 2.3. Strefa bojowego oddziaływania plm i punkty spotkania z celami.

Rozwiązanie układu równań opisujących rubieżę PRWS i PRWL oraz trasy lotu celów wyznaczy punkty, które należy potraktować jako punkty spotkania  $/X_{SP} \ Y_{SP}/$  samolotów myśliwskich z celami na odpowiednich rubieżach.

Wyznaczone dla PRWS punkty spotkania  $(X_{SP_{PRWS}}^l \ Y_{SP_{PRWS}}^l)$  z celami i związane z nimi czasy spotkania  $t_{sp}^l$  określają przestrzeń wszystkich ataków, które należałoby zrealizować na tej rubieży.

O tym, które z nich będą możliwe do wykonania decydują możliwości czasowo-przestrzenne dyżurujących w powietrzu w określonych strefach samolotów myśliwskich.

Samoloty myśliwskie dla wykonania zadania z dyżurowania w powietrzu w określonej strefie muszą wystartować z lotniska o współrzędnych  $X_L \ Y_L$  wejść do nakazanej strefy o współrzędnych jej środka geometrycznego  $X_S \ Y_S$ , skąd po określonym czasie dyżurowania  $T_d$  równym

$$T_d = t_k - t_{ws} \quad /2.11/$$

gdzie:

$t_k$  - czas wydania komendy na wyjście ze strefy;

$t_{ws}$  - czas wejścia samolotów do strefy,

wykonać manewr, przybyć do punktu spotkania

wykonać zadanie i wrócić na lotnisko bazowania. Droga jaką przebędą samoloty nie może przekroczyć wartości dwóch promieni taktycznych. Miejscem geometrycznym punktów oddziaływania samolotów myśliwskich ze strefy w dowolnej chwili czasu  $t$  jest

rubież w kształcie elipsy [17] /rys. 2.4/, której ogniskami będą punkty o współrzędnych  $X_L Y_L$  /lotniska/ i  $X_S Y_S$  /strefy/. Jak wynika z rys. 2.4 samoloty działające ze strefy są w stanie przebyć drogę wyrażoną zależnością

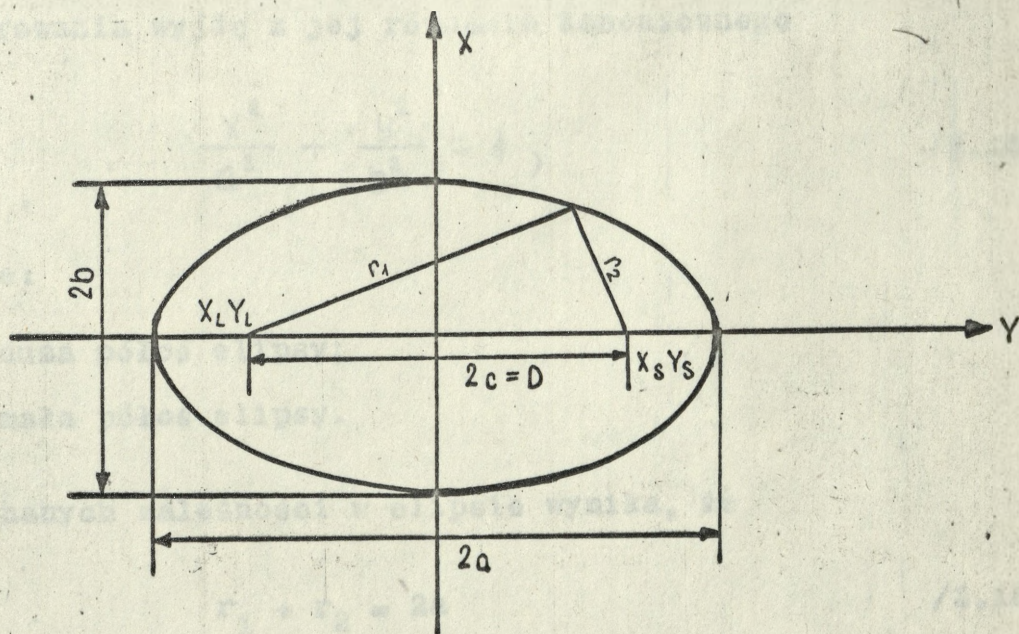
$$r_1 + r_2 + D = 2R, \quad /2.12/$$

gdzie

$r_1$  i  $r_2$  - promienie tworzące elipsy;

$D$  - odległość strefy od lotniska;

$R$  - promień taktyczny samolotów myśliwskich stały przy określonym wariancie uzbrojenia i zapasie paliwa.



Rys. 2.4. Rubież oddziaływania samolotów myśliwskich ze strefy dyżerowania.

Uwzględniając fakt, że samoloty ze strefy dyżurowania wychodzą na wykonanie zadania po czasie dyżurowania  $T_d$  /zależność 2.11/, w którym pokonują drogę

$$S = T_d \cdot V_d, \quad /2.13/$$

równanie /2.12/ przyjmie postać

$$r_1 + r_2 + D + S = 2R, \quad /2.14/$$

Jak wynika z /2.13/ droga  $S$  jest rosnącą funkcją czasu dyżurowania.

Ponieważ  $D$  i  $R$  są wielkościami stałymi, więc wzrost  $S$  w /2.14/ musi pociągać zmniejszanie się wartości  $r_1$  i  $r_2$ , co oznacza że elipsa będzie kurczyć się w czasie.

Dla wyprowadzenia zależności równania elipsy w funkcji czasu dyżurowania wyjdę z jej równania kanonicznego

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad /2.15/$$

gdzie:

$a$  - duża półoś elipsy;

$b$  - mała półoś elipsy.

Ze znanych zależności w elipsie wynika, że

$$r_1 + r_2 = 2a \quad /2.16/$$

oraz

$$c^2 = a^2 - b^2 \quad /2.17/$$

Podstawiając /2.16/ do /2.14/ uzyskuje:

$$2a + D + S = 2R,$$

skąd

$$a = \frac{2R - D - S}{2} \quad /2.18/$$

Z kolei z /2.17/ wynika, że

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} \quad /2.19/$$

Podstawiając do /2.19/ za a zależność /2.18/ oraz za c zależność /patrz rys. 2.4/

$$c = \frac{D}{2},$$

uzyskam:

$$b = \sqrt{\left(\frac{2R - D - S}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \quad /2.20/$$

Jeżeli /2.18/ i /2.20/ wstawić do równania kanonicznego elipsy /2.15/, to uzyskam jej równanie w funkcji czasu dyżurowania  $T_d$

$$\frac{x^2}{\left(\frac{2R - D - S}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{2R - D - S}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} = 1, \quad /2.21/$$

gdzie:

$$S = T_d \cdot V_d$$

Dla każdego punktu spotkania  $X_{SP}^i$   $Y_{SP}^i$  wyznaczonego dla rubieży PRWS czas spotkania  $t_{sp}^i$  określony jest zależnością

$$t_{sp}^i = t_{M_k}^i + T_{dol_c} - T_{op} \quad /2.22/$$

gdzie

$t_{M_k}^i$  - czas ostatniego meldunku o celu z indeksem  $i$ ;

$t_{dol_c}$  - czas dolotu celu do punktu spotkania;

$t_{op}$  - czas opóźnienia informacji radiolokacyjnej w relacji RLP - SD brt.

Czas  $t_{M_k}^i$  jest podany w meldunku, czas  $T_{op}$  w charakterystyce RLP, natomiast czas  $T_{dol_c}$  określić można zależnością

$$T_{dol_c} = \frac{\sqrt{(X_c - X_{SP}^i)^2 + (Y_c - Y_{SP}^i)^2}}{V_c} \quad /2.23/$$

Aby samoloty myśliwskie mogły spotkać się z celem o indeksie  $i$  w punkcie spotkania  $X_{SP}^i$   $Y_{SP}^i$  w czasie  $t_{sp}^i$  należy wydać im komendę na wyjście ze strefy w czasie  $t_k$  równym

$$t_k = t_{sp}^i - (T_{dol_M} + T_{man}), \quad /2.24/$$

gdzie:

$t_{sp}^i$  - czas spotkania w punkcie  $X_{SP}^i$   $Y_{SP}^i$  ;

$T_{dol_M}$  - czas dolotu samolotów myśliwskich do punktu spotkania;

$T_{man}$  - czas potrzebny na wykonanie przez samoloty myśliwskie manewrów na wyjście ze strefy i w tylną półsferę celu.

Czasy  $t_{sp}^i$  i  $T_{man}$  są dane, natomiast czas dolotu samolotów myśliwskich do punktu spotkania wyznacza zależność

$$T_{dol M} = \frac{\sqrt{(X_{SP PRWS}^i - X_s)^2 + (Y_{SP PRWS}^i - Y_s)^2}}{V_m} \quad /2.25/$$

Wyznaczony z /2.24/  $t_k$  pozwoli określić możliwość zwalczania celu ze strefy. Możliwość taka będzie realna w przypadku gdy:

$$1^{\circ} \quad t_k \geq t_{dec} \quad /2.26/$$

gdzie  $t_{dec} = t_{M_1}^i + T_{op} + T_{pas}$

$t_{M_1}^i$  - czas pierwszego meldunku o celu z indeksem i;

$T_{op}$  - czas opóźnienia informacji;

$T_{pas}$  - czas potrzebny na podjęcie decyzji.

$$2^{\circ} \quad \frac{(X_{SP PRWS}^i)^2}{\left(\frac{2R-D-T_d \cdot V_d}{2}\right)^2} + \frac{(Y_{SP PRWS}^i)^2}{\left(\frac{2R-D-T_d \cdot V_d}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} - 1 \leq 0 \quad /2.27/$$

gdzie:

$$T_d = t_k - t_{ws}$$

Warunek drugi oznacza, że punkt spotkania o współrzędnych  $X_{SP PRWS}^i$   $Y_{SP PRWS}^i$  w momencie wydania komendy na wyjście samolotów myśliwskich ze strefy  $t_k$  musi należeć do zbioru punktów określonego funkcją /2.27/ /musi znajdować się wewnątrz elipsy lub leżeć na niej/. Zastosowanie powyższej procedury do wszystkich punktów spotkania na PRWS pozwoli wyznaczyć zbiór możliwych ataków z rozważanych stref.

Procedura określania możliwości oddziaływania LM z lotnisk jest mniej skomplikowana. Wynika to ze stałości zasięgu dyżurowania na lotnisku.

Dla wyznaczonych punktów spotkania  $X_{SP}^L$   $Y_{SP}^L$  na rubieży PRWL czasy spotkania  $t_{sp}^i$  można obliczyć w/g zależności /2.22/ i /2.23/ podstawiając współrzędne punktów spotkania na tej rubieży. Natomiast czas wydania komendy  $t_k$  wyznacza zależność

$$t_k = t_{sp}^i - /T_{dol_M} + T_{st} + T_{man}/. \quad /2.28/$$

gdzie:

$T_{st}$  - czas startu samolotów myśliwskich;

$T_{man}$  - czas manowru samolotów myśliwskich w rejonie celu;

$T_{dol_M}$  - określony jak w /2.25/ przy podstawieniu współrzędnych punktów spotkania na PRWL i  $X_L$   $Y_L$ .

Warunki realizacji poszczególnych ataków ulegną też pewnej modyfikacji. O ile pierwszy z nich /2.26/ nie ulegnie zmianie to drugi /2.27/ sprowadzi się do stwierdzenia faktu, czy  $X_{SP}^L$   $Y_{SP}^L$  leży w zasięgu promienia taktycznego z danego lotniska, tzn. czy spełniona jest nierówność

$$\left(X_{SP}^L\right)^2 + \left(Y_{SP}^L\right)^2 - R^2 \leq \emptyset \quad /2.29/$$

Procedura ta wyznacza zbiór możliwych do realizacji ataków z rozważanych lotnisk. Zbiór wszystkich możliwych ataków /tak ze stref dyżurowania jak i z lotnisk/ poddany jest

procesowi optymalizacji przydziału, w wyniku którego do poszczególnych celów zostaną przydzielone odpowiednie grupy samolotów myśliwskich.

Zagadnienie optymalizacji przydziału się do walki z celami oparte jest o algorytm Forda - Fulkersona [44], którego zastosowanie przedstawił w swojej pracy R. Kulożycki [24].

### 2.3.2. Analiza możliwości użycia wojsk raketowych do walki z SNP nieprzyjaciela.

Prowadzenie skutecznej walki z nieprzyjacielem powietrznym przez wojska raketowe OPK w głównej mierze zależy od miejsca i czasu jej rozpoczęcia maksymalną liczbą dywizjonów raketowych. Jej wynik uwarunkowany jest możliwościami czasowo-przestrzennymi zwalczania SNP nieprzyjaciela przez poszczególne dywizjony. Na możliwości te składają się następujące elementy.:

1. Strefa ognia dywizjonu.
2. Strefa startu rakiet.
3. Rubież bezpośredniej widzialności anteny SNR.
4. Rubież postawienia zadania dla dr OPK.
5. Charakterystyka czasowa dr OPK.

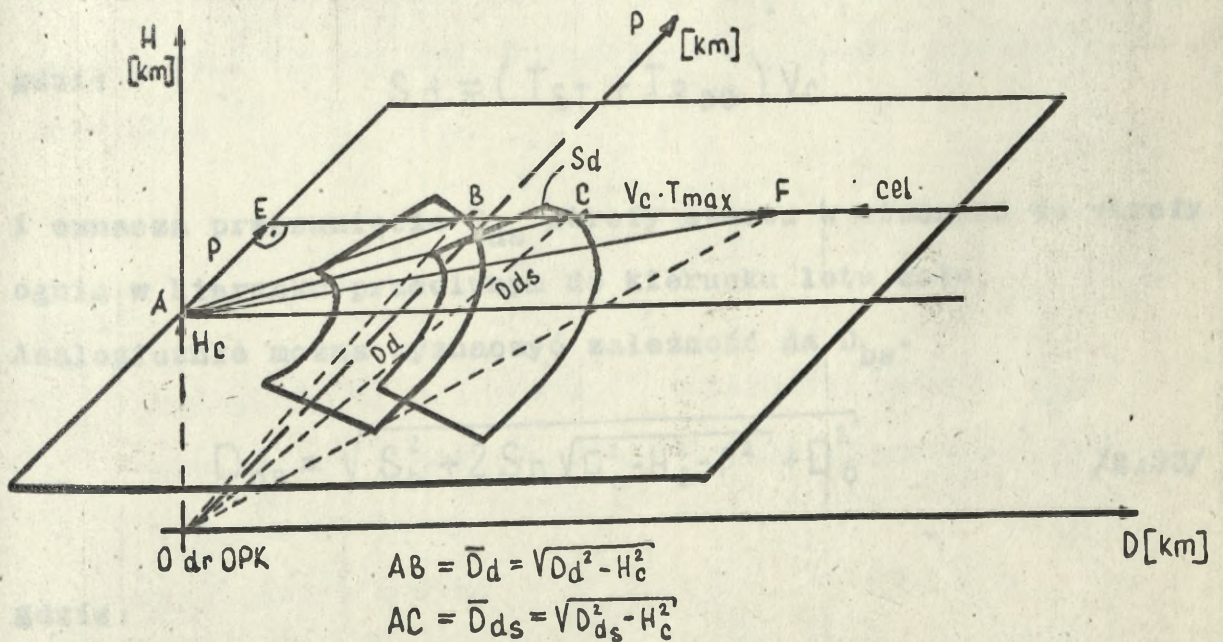
Strefa ognia dr jest częścią strefy bojowej, w której z wymaganym prawdopodobieństwem zapewnione jest zniszczenie celu lecącego z jednego kierunku<sup>1/</sup>.

---

1. A.Zon.: Podstawowe wiadomości z zasad strzelania przeciwlotniczymi raketami kierowanymi systemu 75 przez pułk artylerii raketowej OPK. ASG 1966 s. 15.

Jest ona określona przez bliższą  $/D_b/$  i dalszą  $/D_d/$  granicę, których wartości w funkcji: metody naprowadzania rakiety na cel, parametru kursu celu, wysokości i prędkości jego lotu podają tablice zamieszczone w zasadach strzelania odpowiednich typów zestawów raketowych [54], [55], [56]. Wyznaczone na podstawie wspomnianych tablic wartości  $D_b$  i  $D_d$  dla analizowanego  $dr$  w stosunku do wszystkich celów biorących udział w nalocie, pozwalają określić pozostałe elementy czasowo-przestrzenne decydujące o możliwościach użycia go do walki.

Cel lecący po zadanej trasie może być ostrzelany w strefie ognia w przypadku, gdy start rakiety nastąpi w czasie jego przebywania w strefie startu. Tak więc określona przez  $D_b$  i  $D_d$  strefa ognia  $dr$  względem trasy lotu celu wyznacza związaną z nią strefę startu, którą określają bliższa  $/D_{bs}/$  i dalsza  $/D_{ds}/$  granice. Związek między  $D_{bs}$  i  $D_b$  oraz  $D_{ds}$  i  $D_d$  określeń posługując się rysunkiem 2.5.



Rys. 2.5. Położenie stref ognia i startu  $dr$  na płaszczyźnie lotu celu.

Z trójkąta prostokątnego OAC wynika, że:

$$D_{ds} = \sqrt{\bar{D}_{ds}^2 + H_c^2} \quad /2.30/$$

gdzie:

$\bar{D}_{ds}$  - odległość pozioma do dalszej granicy strefy startu.

Wartość  $\bar{D}_{ds}$  wyznaczamy z trójkątów prostokątnych CBA i BEA na podstawie zależności

$$\bar{D}_{ds}^2 = P^2 + (\sqrt{D_d^2 - H_c^2 - P^2} + S_d)^2,$$

skąd

$$\bar{D}_{ds}^2 = S_d^2 + 2S_d\sqrt{D_d^2 - H_c^2 - P^2} + D_d^2 - H_c^2. \quad /2.31/$$

Podstawiając /2.31/ do /2.30/ uzyskamy.

$$D_{ds} = \sqrt{S_d^2 + 2S_d\sqrt{D_d^2 - H_c^2 - P^2} + D_d^2}, \quad /2.32/$$

gdzie

$$S_d = (T_{ST} + T_{RDD}) V_c$$

i oznacza przesunięcie  $D_{ds}$  strefy startu w stosunku do strefy ognia w kierunku przeciwnym do kierunku lotu celu.

Analogicznie można wyznaczyć zależność na  $D_{bs}$ .

$$D_{bs} = \sqrt{S_b^2 + 2S_b\sqrt{D_b^2 - H_c^2 - P^2} + D_b^2} \quad /2.33/$$

gdzie:

$$S_b = (T_{ST} + T_{RDB}) V_c$$

i oznacza przesunięcie  $D_{bs}$  strefy startu w stosunku do  $D_b$  strefy ognia w kierunku przeciwnym do kierunku lotu celu, przy czym

$T_{ST}$  - czas startu rakiety /wejścia z wyrzutni/;

$T_{RDD}$  - czas dolotu rakiety do dalszej granicy strefy ognia;

$T_{RDB}$  - czas dolotu rakiety do bliższej granicy strefy ognia.

Obliczone w oparciu o bliższą i dalszą granice strefy ognia dr elementy strefy startu  $D_{bs}$  i  $D_{ds}$  umożliwiają obliczenie czasu przebywania w niej celu. Czas ten określa ilość możliwych do wystrzelenia rakiet przez dr i można go wyznaczyć z zależności

$$T_{PS} = \frac{\sqrt{D_{ds}^2 - H_c^2 - \rho^2} - \sqrt{D_{bs}^2 - H_c^2 - \rho^2}}{V_c} \quad /2.34/$$

Dywizjon będzie miał możliwość wykonania postawionego mu zadania w przypadku gdy cel będzie w zasięgu bezpośredniej widoczności anteny SNR. Odległość tę wyznacza następująca zależność 1/

$$D_{bw} = \sqrt{(a \sin \epsilon_z)^2 + 2aH_c} - a \sin \epsilon_z, \quad /2.35/$$

gdzie

$D_{bw}$  - odległość bezpośredniej widzialności celu;

$a$  - ekwiwalent promienia Ziemi z uwzględnieniem refrakcji  
równy 8500 km;

$\epsilon_z$  - kąt zakrycia SNR;

$H_c$  - wysokość lotu celu.

Zadanie na zwalczanie celu przez dr należy postawić na takiej odległości aby obsługa mogła wykonać wszystkie czynności i była w stanie odpalić pierwszą rakieta na dalszej granicy strefy startu. Jak wynika z rys. 2.5. rubież postawienia zadania wyznaczona może być zależnością

$$D_{pz} = \sqrt{S_{D_{pz}}^2 + 2S_{D_{pz}} \sqrt{D_{ds}^2 - H_c^2 - P^2} + D_{ds}^2}, \quad /2.36/$$

gdzie :

$$S_{D_{pz}} = V_c \cdot T_{max}$$

oznacza drogę jaką przebedzie cel od rubieży postawienia zadania w czasie  $T_{max}$ , który to czas wynosi

$$T_{max} = T_k + T_{dr}$$

i oznacza łączny czas potrzebny na wydanie komendy  $T_k$  i wypracowanie danych oraz przygotowanie dr do strzelania  $T_{dr}$ .

W zależności od tego czy mamy do czynienia z nieautomatyzowanym lub zautomatyzowanym systemem  $T_{max}$  można obliczyć w/g zależności:

a/ w systemie nieautomatyzowanym

$$T_{max} = T_{SD} + T_k + T_{OBR} + T_{UCHW} + T_{Pd} + T_{ST} + T_{RDD}$$

b/ w systemie zautomatyzowanym

$$T_{max} = T_{WSK} + T_{UCHW} + T_{Pd} + T_{ST} + T_{RDD}$$

gdzie

$T_{SD}$  - czas pracy SD związku taktycznego przy ocenie sytuacji i podziale celów;

$T_k$  - czas przekazywania komend;

$T_{OBR}$  - czas obrotu anteny SNR;

$T_{UCHW}$  - czas potrzebny na wykrycie i automatyczne przechwycenie celu;

$T_{Pd}$  - czas przygotowania danych do strzelania;

$T_{ST}$  - czas startu rakiety;

$T_{RDD}$  - czas lotu rakiety do dalszej granicy strefy ognia;

$T_{WSK}$  - czas automatycznego wskazania celu.

Przykładowe charakterystyki czasowe dywizjonu wyposażonego w różne zestawy rakiet przedstawia tablica 2.1.

Wykorzystując opisane wyżej elementy czasowo-przestrzenne możliwości oddziaływania wojsk rakietowych w trakcie analizy określa się dla każdego dr zbiór celów możliwych do zwalczania. Zastosowanie wspomnianej już metody optymalizacji spowoduje przydzielenie dywizjom tych celów, których zwalczanie będzie najbardziej korzystne i stanowić będzie podstawę do postawienia im zadań bojowych w walce z ŚNP nieprzyjaciela.

Tablica 2.1.

Nr	Czynność	Oznaczenie	Czas /s/		
			S-75M	SA-75M	S-125
1	2	3	4	5	6
1	Podanie komendy do przeniesienia ognia	$T_K$	5	5	5
2	Obrót anteny	$T_{OBR}$	11	11	12
3	Wykrycie i przechwycenie celu	$T_{UCHW}$	7	7	7
4	Przygotowanie danych do strzelania	$T_{Pd}$	10/40	10/40	5

1	2	3	4	5	6
5	Start rakiety	$T_{ST}$	2	2	1.5
6	Odstęp między startami w serii	$T_O$	6	6	5
7	Lot rakiety do dalszej granicy strefy ognia	$T_{RDD}$			
	- średnie i duże wysokości		57	47	35
	- małe wysokości		40	34	28
8	Lot rakiety do bliższej granicy strefy ognia	$T_{RDB}$	22	22	10
9	Czas pracy SD /ZT/	$T_{SD}$	30	30	30
10	Wskazanie automatyczne celu	$T_{WSK}$	5	5	5

Czas przeniesienia ognia

$$T_p = T_K + T_{OBR} + T_{UCHW} + T_{Pd}$$

Czas ostrzelania celu n - rakietami

$$T_{ON} = T_{ST} + /n-1/ T_O + T_{RDD}$$

Czas cyklu strzelania

$$T_{CN} = T_p + T_{ON}$$

## 2.4. Model symulacyjny walki elementów aktywnych SOPKT.

Dotychczasowe rozważania dotyczyły działań SOPKT związanych z zabezpieczeniem w informację radiolokacyjną oraz jej analizą z punktu widzenia możliwości zwalczania wykrytych celów przez elementy aktywne systemu. Wynikiem wspomnianej analizy była decyzja przydziału środków aktywnych do zwalczania poszczególnych celów, po podjęciu której odpowiedni dowódcy stawiają zadania przydzielonym środkom obrony powietrznej. Treścią zasadniczą stawianych zadań jest walka ze wskazanymi celami.

### 2.4.1. Model symulacyjny oddziaływania samolotów myśliwskich na cele powietrzne.

Postawienie zadania zniszczenia celu powietrznego dla określonej grupy samolotów myśliwskich rozpoczyna proces ich oddziaływania na ten cel. Wynikiem oddziaływania powinno być przechwycenie celu. Przez pojęcie to należy rozumieć ciąg występujących po sobie zdarzeń.

1. Wyprowadzenie samolotów myśliwskich w punkt umożliwiający wykrycie celu i rozpoczęcie zbliżania.
2. Zbliżenie samolotów myśliwskich do celu.
3. Wykonanie ataku.
4. Powrót samolotów na lotniska.

Przechwycenie celu przez samoloty myśliwskie jest zdarzeniem losowym, którego prawdopodobieństwo zaistnienia wyraża zależność <sup>1/</sup>

---

1. W.N. Kamiński. Szturmanskoje obiespieczeniye wojennykh diejstwiy WWS. Moniyo 1961 s. 237.

$$P_p = P_{at} \cdot P_{raz} \cdot K, \quad /2.37a/$$

gdzie

$P_{at}$  - prawdopodobieństwo wyjścia samolotów myśliwskich do ataku /w strefę początku zbliżania/;

$P_{raz}$  - prawdopodobieństwo rażenia celu;

$K$  - współczynnik niezawodności sprzętu.

Prawdopodobieństwo rażenia celu / $P_{raz}$ / zależy od stosowanego w walce środka rażenia oraz warunków lotu na przechwycenie.

Natomiast prawdopodobieństwo wyjścia samolotów myśliwskich do ataku określa zaistnienie zdarzenia jakim jest wyprowadzenie ich w określony punkt w stosunku do celu. Jak podaje W.N. Kaniński w pracy [21] prawdopodobieństwo to można określić formułą

$$P_{at} = \int \int \int_{x, Y, \alpha} f(x) f(y) f(\alpha) dx dy d\alpha, \quad /2.37/$$

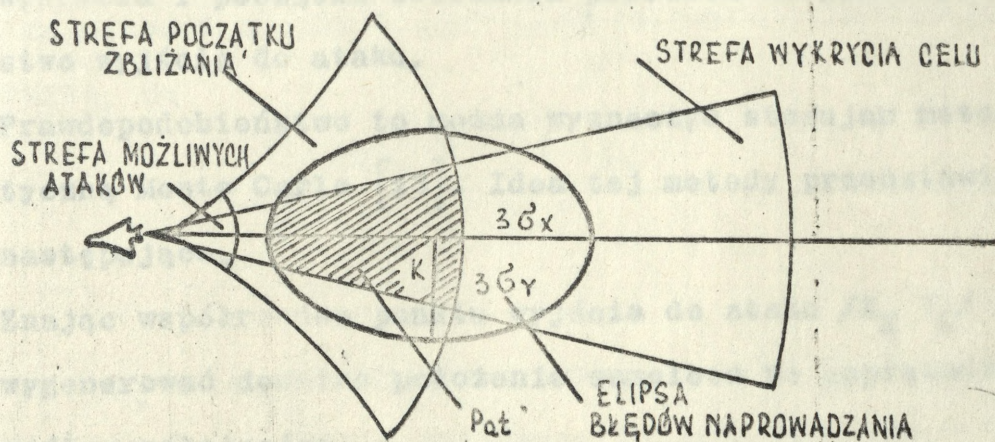
gdzie

$f(x), f(y), f(\alpha)$  - prawa rozkładu gęstości prawdopodobieństw przechwycenia dla współrzędnych  $X, Y$  i kąta kursowego  $\alpha$ .

Całkowanie należy przeprowadzić w przedziałach określających obszar wspólny stref wykrycia i początku zbliżenia.

Analityczne wyznaczenie wartości /2.37/ jest nie możliwe ze względu na brak dokładnych funkcji opisujących powyższe rozkłady prawdopodobieństw i granic obszaru całkowania.

Dlatego dla wyznaczenia powyższego prawdopodobieństwa zastosujemy metody numeryczne. W tym celu posłużymy się rysunkiem 2.6, na którym przedstawiono relację cel - samolot myśliwski w momencie wyjścia do ataku.



Rys. 2.6. Graficzne przedstawienie istoty prawdopodobieństwa wyjścia samolotu myśliwskiego do ataku.

Proces naprowadzania samolotów myśliwskich na cele obarczony jest pewnym błędem wynikającym z takich czynników jak: błędy określania współrzędnych celu i samolotu myśliwskiego za pomocą RLS, błąd wypracowania i przekazania na pokład komend naprowadzania i błąd wykonania komendy.

Błąd ten w przybliżeniu ma rozkład normalny dwuwymiarowy o parametrach  $\sigma_x = \frac{1}{3} \sigma_{x_{\max}}$  i  $\sigma_y = \frac{1}{3} \sigma_{y_{\max}}$  i jego interpretacja na płaszczyźnie, jest elipsą. Naprowadzając samolot myśliwski na cel, w zależności od warunków lotu, znany jest punkt jego wyjścia do ataku. Jeżeli z punktem tym związać środek elipsy błędu naprowadzania, to w elipsie o wymiarach  $3\sigma_x$ ,  $3\sigma_y$  znajdzie się 99.3% wszystkich możliwych położenia samolotu myśliwskiego a część wspólna elipsy oraz stref wykrycia i początku zbliżania przedstawia prawdopodobieństwo wyjścia do ataku.

Prawdopodobieństwo to można wyznaczyć stosując metodę statystyczną Monte Carlo [13]. Idea tej metody przedstawia się następująco.

Znając współrzędne punktu wyjścia do ataku  $(X_K, Y_K)$  należy wygenerować dowolne położenie samolotu po naprowadzeniu, według zależności

$$\begin{aligned} X_{mi} &= X_K + R_{1i} \sigma_x \\ Y_{mi} &= Y_K + R_{2i} \sigma_y, \end{aligned} \quad /2.38/$$

gdzie

$R_{1i}$  i  $R_{2i}$  - liczby losowe z normalnego rozkładu prawdopodobieństwa o parametrach  $\mu = 0$  i  $\sigma = 1$ ;

$i$  - kolejny numer próby.

Następnie należy przeprowadzić test określający czy punkt o współrzędnych  $X_{mi}$ ,  $Y_{mi}$  leży w strefach zbliżania i wykrycia. W przypadku gdy wynik testu jest pozytywny zwiększyć stan licznika dopuszczalnych położenia o jedność. Po przeprowadzeniu dostatecznie dużej ilości prób, stosunek zawartości

wspomnianego licznika do ilości wszystkich prób będzie wyrażał wartość prawdopodobieństwa wyjścia samolotu myśliwskiego do ataku.

Błąd naprowadzania można przedstawić jako sumaryczny średniokwadratowy błąd określania współrzędnych X i Y samolotu myśliwskiego.

$$\sigma_{Xsk} = \sqrt{\sum \sigma_{xi}}$$

$$\sigma_{Ysk} = \sqrt{\sum \sigma_{yi}}$$

/2.39/

Z zależności między błędem średniokwadratowym a maksymalnym<sup>2/</sup> wynikiem, że

$$\sigma_{Xmax} = \frac{8}{3} \sigma_{Xsk}$$

$$\sigma_{Ymax} = \frac{8}{3} \sigma_{Ysk}$$

Tak więc w elipisie błędów o parametrach  $\sigma_{Xmax}$   $\sigma_{Ymax}$  znajdzie się 99,3 % wszystkich możliwych położenia samolotu myśliwskiego w stosunku do punktu  $X_K$   $Y_K$ .

Jak już wspomniałem wcześniej, na sumaryczny średniokwadratowy błąd naprowadzania składa się wiele błędów cząstkowych, które zostaną omówione poniżej. Ich szczegółową analizę przedstawia W.N Kamienski w opracowaniu [21].

Błąd określania współrzędnych przez RLS zależy od jej typu i można go obliczyć z zależności

$$\sigma_X = \sigma_Y = \sqrt{\sigma_D^2 + (D\sigma_A)^2},$$

/2.40/

---

1. W.G. Grigoriane.: Techničeskoje pokazatielei radiolokacjnyh stancji. Wojennoje Izdatielstwo. Moskwa 1963 s.29.

gdzie

- $\sigma_D$  - błąd określania odległości przez RLS [km];
- $\sigma_A$  - błąd określania azymutu przez RLS [radian]

Błąd wypracowania komendy ma miejsce w przypadku naprowadzania wskaźnikowego i składa się on:

- z błędu odczytu położenia myśliwca i celu;
- z błędu czasowego wynikającego z obrotu anteny.

Błąd odczytu można obliczyć według /2.40/, natomiast błąd czasowy określony jest zależnością

$$\sigma_{xt} = \frac{60 V_m}{\gamma \sqrt{2}} \quad /2.41/$$

gdzie

$\gamma$  - ilość obrotów anteny RLS na minutę.

Błąd wykonania komendy jest sumą błędów cząstkowych, takich jak:

- błędu czasowego rozpoczęcia skrętu ( $\sigma_{xts} \sigma_{yts}$ ) ;
- błędu określania kursu samolotu myśliwskiego ( $\sigma_{x\alpha} \sigma_{y\alpha}$ );
- błędu utrzymania reżimów skrętu ( $\sigma_{xR} \sigma_{yR}$ ) ;

Błąd czasowy rozpoczęcia skrętu przy naprowadzaniu metodą manewr /najczęściej stosowana metoda naprowadzania samolotów myśliwskich na cele podczas ich lotu na kursach przeciwnych/ wynika z opóźnienia początku skrętu względem obliczonego punktu i można go wyznaczyć z zależności:

$$\begin{aligned} \sigma_{xts} &= V_m (n - \cos \alpha) \sigma_{ts} \\ \sigma_{yts} &= V_m \sin \alpha \sigma_{ts} \end{aligned} \quad /2.42/$$

gdzie

$n = \frac{V_c}{V_m}$  - stosunek prędkości celu do prędkości samolotu myśliwskiego;

$\alpha$  - różnica kursów celu i samolotu myśliwskiego;

$\sigma_{ts}$  - błąd określania momentu skrętu, który dla średnio wyszkolonych załóg wynosi około 5s.

Błąd określenia i utrzymania kursu samolotu myśliwskiego można określić z zależności.

$$\sigma_{x\alpha} = R(n - \cos \alpha) \sigma_{\alpha}$$

$$\sigma_{y\alpha} = R \sin \alpha \sigma_{\alpha},$$

/2.43/

gdzie

$R$  - promień skrętu samolotu myśliwskiego;

$\sigma_{\alpha}$  - błąd określania kursu równy  $\frac{\delta \pi}{180}$  [r].

Błąd utrzymania reżimów skrętu wynika z niedokładności utrzymania kąta przechyłu i nakazanej prędkości samolotu co wpływa na wielkość promienia skrętu.

Błąd ten można obliczyć w zależności:

$$\sigma_{xR} = [n(\alpha_k - \alpha) - (\sin \alpha_k - \sin \alpha)] \sigma_R$$

$$\sigma_{yR} = (\cos \alpha_k - \cos \alpha) \sigma_R,$$

/2.42/

gdzie

$\alpha_k$  - nakazana różnica kursów celu i samolotu myśliwskiego po wykonaniu skrętu;

$$\sigma_R = \frac{2V_m^2}{g \operatorname{tg} \beta} \sqrt{\sigma_{V_m}^2 + \left( \frac{\sigma_\beta}{\sin 2\beta} \right)^2} - \text{błąd utrzymania przez pilota}$$

ustalonego promienia skrętu;

$\beta$  - ustalony kąt przechyłu samolotu myśliwskiego;

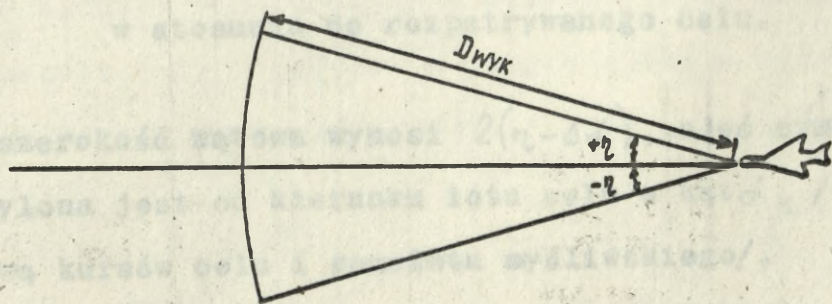
$\sigma_\beta$  - błąd utrzymania kąta przechyłu  $\beta$  równy  $\frac{2\pi}{180} [r]$  ;

$\sigma_{V_m}$  - względny błąd utrzymania prędkości równy 0.1.

Wyznaczone w powyższy sposób parametry elipsy błędów naprowadzania pozwolą wygenerować na podstawie /2.38/ dowolne położenie samolotu myśliwskiego względem nakazanego punktu  $X_K Y_K$ . Dla przeprowadzenia testu możliwości wykonania ataku należy wyznaczyć granice stref wykrycia i początku zbliżania.

Strefę wykrycia celu przez stację pokładową samolotu myśliwskiego obrazuje rysunek 2.7. i określają ją takie parametry jak:

$D_{wyk}$  - odległość wykrycia oraz kąt widzialności anteny ( $\eta$ ).

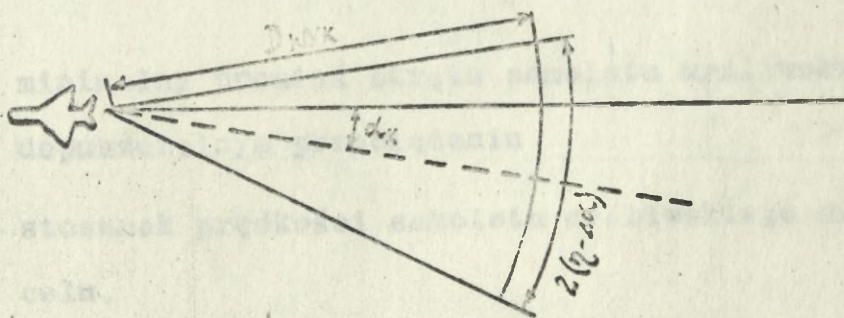


Rys. 2.7. Strefa wykrycia celu przez RLS pokładową samolotu myśliwskiego.

Strefę tą można rozpatrywać w odniesieniu do celu.

Uwzględniając dodatkowo błąd kursu samolotu myśliwskiego

. Jej kształt i wymiary będą przedstawiały się jak na rys. 2.8. Wyprowadzenie zależności określających wspomniane wymiary strefy wykrycia podaje W.N. Kamiński [21].



Rys. 2.8. Strefa wykrycia celu przez samolot myśliwski, w stosunku do rozpatrywanego celu.

Jej szerokość kątowna wynosi  $2(n - \Delta\alpha)$ , a oś symetrii odchylona jest od kierunku lotu celu o kąt  $\alpha_k$  /różnicę kątową kursów celu i samolotu myśliwskiego/.

Strefa początku zbliżania /SPZ/ związana jest ze strefą możliwych ataków /SMA/. Przez strefę możliwych ataków należy rozumieć tę część tylnej półsfery względem celu, w której samolot myśliwski jest w stanie wykonać celowanie i atak. Na płaszczyźnie poziomej obszar strefy

możliwych ataków ograniczony jest minimalną odległością początku ataku  $/D_{\min}/$ , maksymalną odległością początku ataku  $/D_{\max}/$  i granicami wynikającymi z maksymalnego przeciążenia podczas lotu po krzywej celowania. Jeżeli samolot myśliwski podczas celowania porusza się po krzywej bliskiej krzywej pościgu to granice te są częściami okręgu o promieniu

$$r = \frac{R_{\min}}{2m},$$

gdzie

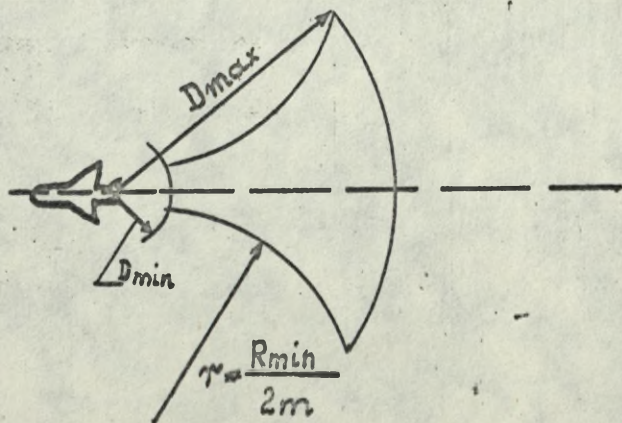
$R_{\min}$  - minimalny promień skrętu samolotu myśliwskiego przy dopuszczalnym przeciążeniu

$m = \frac{1}{n}$  - stosunek prędkości samolotu myśliwskiego do prędkości celu.

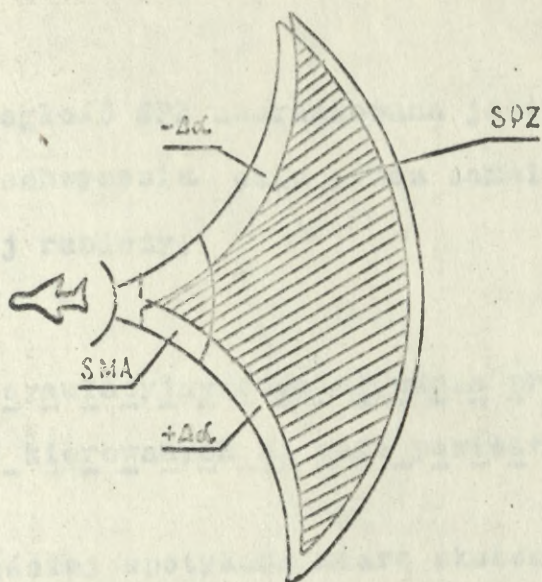
Kształt strefy możliwych ataków przedstawia rys. 2.9.

Odpowiednio do tych granic samolot myśliwski w rezultacie naprowadzania powinien znaleźć się w takich położeniach, z których byłby w stanie wejść w strefę możliwych ataków.

Zbiór wszystkich tych położzeń z uwzględnieniem błędu kursu tworzy strefę początku zbliżania  $/SPZ/$  przedstawioną na rysunku 2.10.



Rys. 2.9. Strefa możliwych ataków.



Rys. 2.10. Strefa początku zbliżania.

Granice tej strefy można wyznaczyć według zależności<sup>1/</sup>

$$x = X_K \pm R[n(\alpha_K - \alpha) - (\sin \alpha_K - \sin \alpha)]$$

$$y = Y_K \pm R(\cos \alpha_K - \cos \alpha),$$

/2.43/

gdzie:

R - promień skrętu samolotu myśliwskiego;

n -  $\frac{V_c}{V_m}$ ;

$\alpha_K$  - nakazana różnica kursów samolotu myśliwskiego i celu po naprowadzeniu;

$\alpha$  - bieżąca różnica kursów samolotu myśliwskiego i celu w procesie naprowadzania;

$X_K Y_K$  - współrzędne punktu wyjścia do ataku,

podstawiając w miejsce  $X_K, Y_K, \alpha_K$  wartości odpowiadające punktom granic SMA, a w miejsce parametru  $\alpha$  możliwe jego wartości z uwzględnieniem błędu kursowego  $\Delta\alpha$ ,

$$\alpha = \alpha_K \pm \Delta\alpha.$$

1. W.N. Kamienskiy.: Szturmanskaje obiespieceniye bojowych olicjstwiy. Monino 1961 r. s. 252.

Graniczna odległość SPZ uwarunkowana jest możliwościami czasowymi przechwycenia celu przez samolot myśliwski na wyznaczonej rubieży.

#### 2.4.2. Model symulacyjny oddziaływania przeciwlotniczych raket kierowanych na cele powietrzne.

Najczęściej spotykaną miarą skuteczności zwalczania celu powietrznego przez dr jest prawdopodobieństwo jego zniszczenia. Zależy ono od wielu czynników w tym między innymi od ilości odpalonych raket.

Prawdopodobieństwo to można obliczyć z zależności

$$P = 1 - (1 - P_1)^n, \quad /2.44/$$

gdzie:

$P_1$  - prawdopodobieństwo rażenia celu jedną raketą;

$n$  - ilość raket wystrzelonych w kierunku celu.

Ilość raket  $n$  wystrzelonych w kierunku celu wyznacza się na podstawie zależności /2.34/ i czasu cyklu wstąpienia kolejnych raket z wyrzutni  $T_0$  według wzoru

$$n = \frac{T_{PS}}{T_0} \quad /2.45/$$

Prawdopodobieństwo zniszczenia celu jedną raketą określone jest zaistnieniem złożonego zdarzenia losowego, na które składają się następujące proste zdarzenia:

- wyprowadzenie rakety w określony punkt względem celu;

- spracowanie radiozapalnika /RZ/ w punkcie o współrzędnych /X, Y, Z/;
- zniszczenie celu przy wybuchu głowicy bojowej /GB/ rakiety w punkcie o współrzędnych /X, Y, Z/.

Prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia pierwszego określone jest przez prawo błędów naprowadzania, wyrażone funkcją gęstości prawdopodobieństwa  $\varphi_1(Y, Z)$ . Prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia drugiego określone jest przez prawo spracowania RZ, jako funkcja gęstości prawdopodobieństwa  $\varphi_2(X/Y, Z)$ . Natomiast prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia polegającego na zniszczeniu celu przy wybuchu GB rakiety w punkcie /X, Y, Z/, określone jest przez współrzędne prawo zniszczenia celu wyrażone funkcją G /X, Y, Z/. Szczegółowy opis powyższych funkcji przedstawiony jest w pracach [7], [30] i [31]. Uwzględniając wspomniane funkcje, prawdopodobieństwo rażenia celu jedną rakieta można zapisać w postaci

$$P_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(x, y, z) \varphi_1(x, z) \varphi_2(x/y, z) dx dy dz \quad /2.46/$$

We wzorze tym wszystkie funkcje powinny być określone w tym samym układzie współrzędnych O X Y Z, którego początek pokrywa się z położeniem celu. Oś O X jest skierowana wzdłuż wektora prędkości zbliżania się rakiety do celu a osie OY i OZ leżą w płaszczyźnie prostopadłej /ekranowej/ do wektora tej prędkości.

Wprowadzając oznaczenie:

$$G(Y, Z) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x, y, z) \varphi_2(x/y, z) dx;$$

gdzie:

$G(x,y)$  - umowne prawo zniszczenia celu określające prawdopodobieństwo jego zniszczenia przy odchyleniu rakiety od wymaganego toru o wartości  $/y,z/$  w płaszczyźnie ekranowej pod warunkiem zadziałania RZ,

wzór /2.46/ przyjmie postać

$$P_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(Y,Z) \varphi_1(Y,Z) dy dz \quad /2.47/$$

Dla praktycznego przeprowadzenia obliczeń należy więc określić funkcje  $G(Y,Z)$  i  $\varphi_1(Y,Z)$

Umowne prawo zniszczenia celu można przedstawić na wykresie jako rodzinę krzywych zamkniętych, dla których prawdopodobieństwo rażenia jest stałe. Dla pewnych przypadków krzywe równych prawdopodobieństw są zbliżone do okręgów a prawdopodobieństwo zniszczenia celu zależy tylko od wartości odchylenia rakiety od celu. Jak wynika z doświadczeń, umowne prawo zniszczenia celu w tym przypadku można wyrazić zależnością<sup>1/</sup>

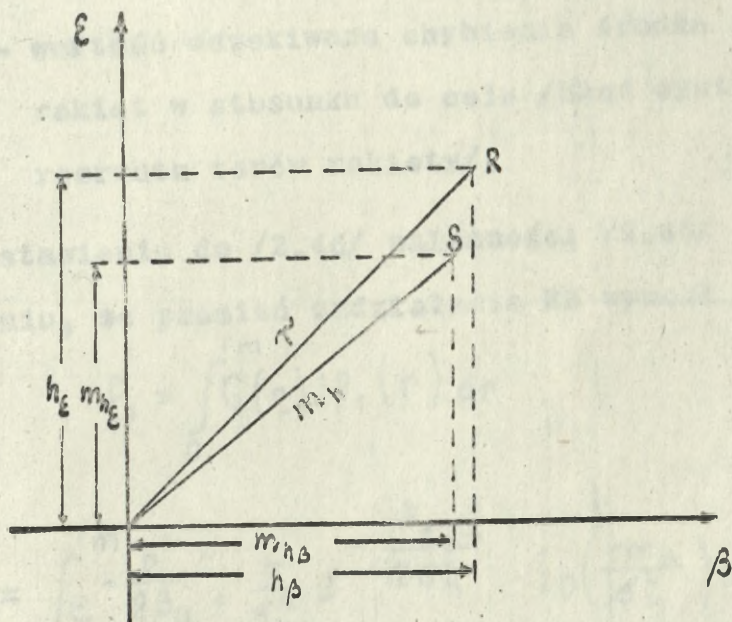
$$G(r) = e^{-\frac{r^2}{2\beta_0}} \quad , \quad /2.48/$$

gdzie:

$r$  - wartość uchylenia rakiety względem celu w płaszczyźnie ekranowej;

$\beta_0$  - parametr umownego prawa zniszczenia celu określony empirycznie - wyrażający charakterystykę ładunku bojowego, radiozapalnika i wrażliwości celu oraz warunki strzelania.

Błędy naprowadzania rakiety na cel mogą być scharakteryzowane wartością oczekiwaną odchylenia środka rozrzutu punktów przecięcia torów rakiet z płaszczyzną ekranową  $m_{\beta}$  i średnim błędem kwadratowym rozrzutu torów wokół tego środka  $\sigma_{\beta}$  - rysunek 2.11.



Rys. 2.11. Przypadkowe położenie rakiety /R/ i środka rozrzutu torów rakiet /S/ w stosunku do celu /C/ w płaszczyźnie ekranowej opisaney zmiennymi sterowania.

Prawo błędów naprowadzania  $\psi_1(Y, Z)$  w współrzędnych biegunowych  $r = \sqrt{h_{\epsilon}^2 + h_{\beta}^2}$  ma rozkład Rayleigha opisany zależnością 1/.

1. B. Miller.: Błędy naprowadzania przeciwloniczej rakiety kierowanej. PWL i WOPK 15/1976 s. 37.

$$\psi_1(r) = \frac{\tau}{\sigma_h^2} e^{-\frac{r^2 + m_h^2}{2\sigma_h^2}} I_0\left(\frac{r m_h}{\sigma_h^2}\right), \quad /2.49/$$

gdzie:

$I_0\left(\frac{r m_h}{\sigma_h^2}\right)$  - zerowa funkcja Bessela od argumentu urojonego ;

$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sigma_z^2 + \sigma_\beta^2}{2}}$  - średnie odchylenie standardowi chybienia rakiety w cel;

$m_h$  - wartość oczekiwana chybienia środka rozrzutu torów rakiet w stosunku do celu /błąd systematyczny rozrzutu torów rakiety/.

Po podstawieniu do /2.46/ zależności /2.48/ i /2.49/ oraz założeniu, że promień zadziałania RZ wynosi  $r_m$  otrzymujemy

$$P_1 = \int_0^{r_m} G(r) \psi_1(r) dr$$

czyli

$$P_1 = \int_0^{r_m} e^{-\frac{r^2}{2\beta_0}} \cdot \frac{\tau}{\sigma_h^2} e^{-\frac{r^2 + m_h^2}{2\sigma_h^2}} \cdot I_0\left(\frac{r m_h}{\sigma_h^2}\right) dr. \quad /2.50/$$

Rozwiązanie tej całki podaje F.K.Nieupokojew [32] i ma ono postać:

$$P_1 = \frac{\beta_0^2}{\beta_0 + \sigma_h^2} e^{-\frac{m_h^2}{2(\beta_0^2 + \sigma_h^2)}}, \quad /2.51/$$

przy założeniu, że  $r_m > h + 3\sigma_h$ , dla którego

$$I_0\left(\frac{r_m m_h}{\sigma_h^2}\right) \cong 1$$

Wielkości  $\beta_0$ ,  $m_h$  i  $\sigma_h$  są wyznaczane doświadczalnie a w modelu systemu zadane są parametrycznie jako jedne z jego parametrów odzwierciedlając dokładność naprowadzania

rakiety na cel, charakterystykę GB rakiety oraz odporność celu na rażenie odłamkami.

## 2.6. Wnioski.

Przedstawiony w tym rozdziale model symulacyjny działań bojowych podstawowych rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym opisuje ich działanie w ujęciu systemowym. Wyróżnione w modelu zdarzenia oraz opis matematyczny poszczególnych elementów działań umożliwiają zbudowanie algorytmu, który będzie stanowił podstawę do opracowania programu na EMC. Program ten będzie dogodnym narzędziem w badaniach możliwości bojowych wspomnianych wojsk. Wynikająca z zaprezentowanego modelu metoda określania tych możliwości, w odróżnieniu od metod dotychczasowych, ujmuje problem kompleksowo. Uwzględnia ona wpływ takich czynników na rezultat walki jak: rozmiary i jakość pola radiolokacyjnego utworzonego przez batalion radiotechniczny, elementy czasowo-przestrzenne walki, jej dynamikę oraz związany z nimi optymalny podział celów.

Rozmiary pola radiolokacyjnego brt określają zbiór celów możliwych do zwalczania zarówno przez lotnictwo jak i artylerię raketową. Wielkość i jakość tego pola zależą od parametrów taktyczno-technicznych stacji radiolokacyjnych rozwiniętych na poszczególnych posterunkach a także ich położenia w ugrupowaniu batalionu. Z rozmiarami granic pola radiolokacyjnego ściśle wiąże się rubież wydawanej informacji o ŚNP nieprzyjaciela. Rubież ta zależy także od stopnia

zautomatyzowania poszczególnych kompanii. Jej położenie względem lotnisk i stanowisk startowych dywizjonów raketowych w znacznej mierze wpływa na możliwości ich oddziaływania na cele powietrzne.

Elementy czasowo-przestrzenne walki takie jak: rubieże wprowadzenia do walki lotnictwa, położenie stref dyżurowania w powietrzu, punkty spotkania samolotów myśliwskich z poszczególnymi celami, rubieże stawiania zadań dywizjom ogniowym artylerii raketowej ich strefy startu i ognia uzależnione są od wzajemnego położenia lotnisk i stanowisk startowych i pozwalają stosować określone zasady współdziałania tych rodzajów wojsk. Fakt ten ma swoje odzwierciedlenie w możliwościach bojowych zwalczania celów biorących udział w nalocie.

Dynamika walki odwzorowana w modelu czasem oddziaływania lotnictwa na cele, czasem cyklu strzelania i czasem odtwarzania gotowości bojowej i jak również pozostałymi czasami procesu analizy możliwości użycia poszczególnych rodzajów wojsk na PłSD też ma wpływ na ilość możliwych do zniszczenia celów.

Optymalny podział celów pomiędzy poszczególne rodzaje wojsk umożliwia równomierne rozłożenie ciężaru walki na wszystkie elementy aktywne systemu przy jednoczesnym zapewnieniu zwalczania celów najważniejszych z punktu widzenia obrony obiektów w sektorze odpowiedzialności PłSD.

Zastosowanie symulacji komputerowej do omówionego tu modelu umożliwi wygenerowanie krok po kroku poszczególnych elementów walki i w ten sposób pozwoli określić faktyczne możliwości bojowe uczestniczących w niej rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym.

### ROZDZIAŁ III

## 3. ALGORYTM MODELU SYMULACYJNEGO WALKI RODZAJÓW WOJSK OPK NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM.

Treścią zasadniczą niniejszego rozdziału jest algorytm modelu symulacyjnego walki rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym. Składa się on z dwóch części.

1. Algorytm ogólny modelu symulacyjnego.
2. Algorytmy modelu zdarzeń wyróżnionych w SOPKT.

W części pierwszej przedstawiona jest ogólna struktura modelu określająca współdziałanie poszczególnych jego bloków. W części drugiej natomiast podane są algorytmy szczegółowe podprogramów obsługi zdarzeń wyróżnionych w rozpatrywanym systemie. W dalszej części tego rozdziału przedstawiony jest przykład taktyczny wraz z wynikami obliczeń dokonanych za pomocą opracowanego programu w oparciu o wspomniany wyżej algorytm. Dokonana jest także analiza otrzymanych wyników oraz ich interpretacja. Całość rozdziału podsumowano wnioskami płynącymi z zastosowania omówionej metody do określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym.

### 3.1. Algorytm ogólny modelu symulacyjnego.

W rozdziale pierwszym przy omawianiu zbioru zdarzeń systemu OPK na szczeblu taktycznym /SOPKT/ określony został pewien skończony zbiór zdarzeń. Zdarzenia te opisują posz-

czególne etapy działań bojowych i determinują stany poszczególnych elementów systemu.

Do zbioru tych zdarzeń należą:

1. Obserwacja sytuacji powietrznej i wykrycie celu przez RLP.
2. Przyjęcie meldunku o celu na PiSD i jego zobrazowanie.
3. Analiza sytuacji powietrznej na PiSD i podjęcie decyzji o użyciu sił do walki.
4. Postawienie zadań dla pkm.
5. Postawienie zadań dla dr OPK.
6. Wyprowadzenie samolotów myśliwskich na cel oraz prowadzenie walki.
7. Prowadzenie walki przez dr OPK
8. Powrót samolotów myśliwskich na lotnisko i odtwarzanie gotowości bojowej.
9. Odtwarzanie gotowości bojowej przez dr OPK.

Każde z wymienionych wyżej zdarzeń opisane jest czasem jego wystąpienia oraz zawiera zbiór elementów systemu, których stany aktualizuje. Ciąg występujących po sobie zdarzeń, wynikający z dynamiki walki, zapisywany jest w kalendarzu zdarzeń. Dla obsługi kalendarza zdarzeń opracowany został specjalny podprogram, który pobiera kolejne zdarzenia, identyfikuje je i przekazuje sterowanie dla podprogramów ich obsługi.

Z obsługą kalendarza zdarzeń związany jest również podprogram jego aktualizacji, który każde nowe zdarzenie umieszcza w odpowiednie miejsce według czasu jego wystąpienia.

Nad całością pracy poszczególnych podprogramów i prawidłową ich realizacją czuwa program główny, który zakłada potrzebne zbiory danych oraz inicjuje pracę modelu.

Schemat organizacji modelu symulacyjnego przedstawia rysunek

3.1. Jego realizacja przebiega według algorytmu.

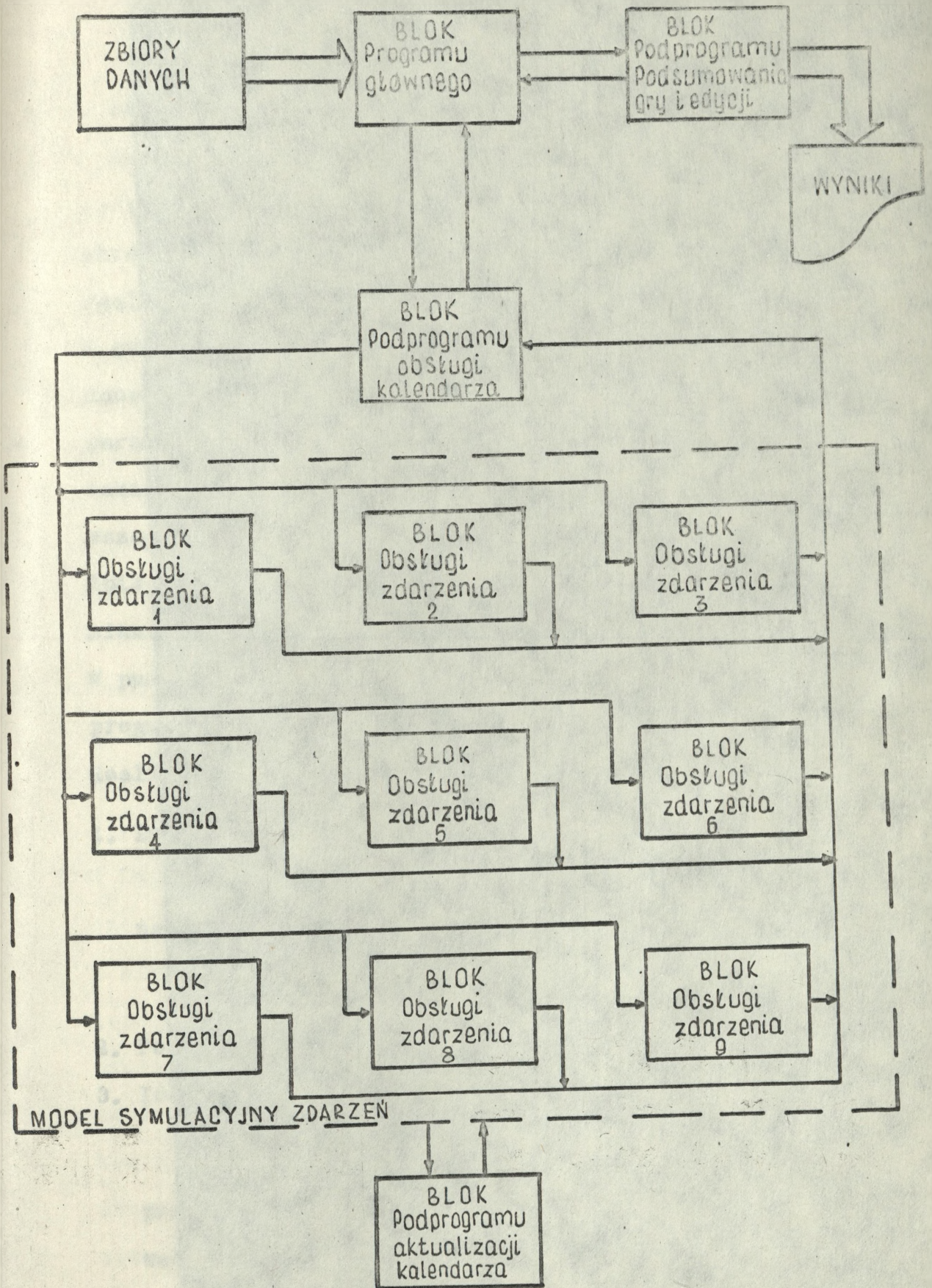
1. Wprowadź kartę opisu zbioru danych do symulacji.
2. Czy dane należą do zbioru danych stałych /-DS-/?  
Jeśli tak realizuj krok 6.
3. Czy dane należą do zbioru danych aktualizujących / AKT/ ?  
Jeśli tak realizuj krok 7.
4. Czy dane należą do zbioru danych zmiennych /-DZ/?  
Jeśli tak realizuj krok 8.
5. Sygnalizuj błąd opisu danych, żądaj jego poprawienia i realizuj krok 1.
6. Wprowadź z czytnika kart do pamięci operacyjnej /PO/ dane stałe obejmujące charakterystyki sprzętu oraz opis terenu i po sprawdzeniu prawidłowej ich postaci załóż zbiór na taśmie magnetycznej pod nazwą DANE STALE. Realizuj krok 9.
7. Wprowadź do PO dane stałe ze zbioru na taśmie magnetycznej, dokonaj ich aktualizacji zbiorem aktualizującym na kartach, zapisz aktualny zbiór na taśmę magnetyczną i przejdź do realizacji kroku 9.
8. Wprowadź do PO dane stałe ze zbioru na taśmie magnetycznej.
9. Wprowadź z czytnika kart dane zmienne opisujące ugrupowanie elementów SOPKT oraz jego parametry. Sprawdź ich poprawność i na życzenie użytkownika wydrukuj na drukarce wierszowej.

10. Sprawdź warunek zakresu dokonywanych obliczeń.  
Jeśli jest spełniony, to wykonaj krok 13.
11. Przygotuj system do symulacji walki jego elementów z ŚNP nieprzyjaciela dokonując obliczeń zależności czasowo-przestrzennych celów biorących udział w nalocie względem wspomnianych elementów.
12. Wyniki obliczeń fazy przygotowawczej zapisz na taśmę magnetyczną w zbiór TABLICE i wykonaj krok 14.
13. Odczytaj wyniki fazy przygotowawczej z taśmy magnetycznej /zbiór TABLICE/.
14. Realizuj krok 1 algorytmu podprogramu obsługi kalendara zdarzeń.
15. Realizuj obliczenia podsumowujące grę symulacyjną i wyprowadź wyniki na drukarkę wierszową.
16. Zakończ pracę algorytmu symulacji walki SOPKT z modelem nalotu ŚNP nieprzyjaciela.

Przedstawiony powyżej algorytm obrazuje pracę programu głównego. W punktach od 1 do 9 program realizuje sekwencję wprowadzania, kontroli i aktualizacji danych do gry symulacyjnej. Ich dokładny opis i organizację oraz przygotowanie danych do obliczeń przedstawiono w załączniku 1.

/Opis i instrukcja eksploatacji programu określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym "WALKKA"/.

W punkcie 10 algorytmu badany jest warunek zakresu dokonywanych obliczeń. Program może realizować obliczenia w pełnym i skróconym zakresie. Pełny zakres obliczeń obejmuje obliczenia związane z elementami zależności czasowo-przestrzennych w relacji cel-RLP, cel - PN, cel -L/S



Rys. 3.1. Schemat blokowy organizacji modelu symulacyjnego walki SOPKT.

lotniska/strefy/ i cel - doar. Ich wyniki zapisuje na taśmę magnetyczną w zbiór TABLICE i następnie przystępuje do symulacji działań bojowych analizowanych wojsk. Zakres skrócony bazuje na wynikach zapisanych w zbiorze TABLICE i realizuje tylko symulację.

W przypadku, gdy mamy założony zbiór TABLICE możemy badać dane ugrupowanie pod względem jego możliwości zmieniając parametry systemu określające jego proces walki. Rozwiązanie takie w znacznym stopniu przyśpiesza obliczenia i umożliwia wszechstronne i wielokrotne przebadanie systemu. Opis parametrów systemu podany jest we wspomnianym załączniku 1.

W punkcie 14 program główny przekazuje sterowanie do podprogramu obsługi kalendarza zdarzeń.

Realizuje on ciąg czynności według algorytmu:

1. Inicjuj symulację procesu walki wprowadzając do kalendarza zdarzenie o numerze 1 z czasem jego zaistnienia równym najwcześniejszemu wykryciu celu przez brt.

$K := 1; DK := 1$

2. Pobierz z kalendarza zdarzenie według wartości zmiennej  $K$ ;
3. Identyfikuj typ zdarzenia;

$I :=$  kod typu zdarzenia,

przekaż sterowanie podprogramowi obsługi zdarzenia według wartości zmiennej  $I$ .

4. Aktualizuj indeks kalendarza zdarzeń:

$K := K + 1$

5. Sprawdź, czy w kalendarzu zdarzeń są zdarzenia nie obsłużone? Jeśli tak realizuj krok 2.
6. Przekaż sterowanie programowi głównemu.

Wśród obsługiwanych zdarzeń są takie, które generują inne spośród omówionego wyżej zbioru zdarzeń. I tak, dla przykładu, zdarzenie o kodzie 1 może wygenerować pewną ilość zdarzeń o kodzie 2 - w zależności od tego ile celów wykryły pododdziały brt. Za każdym razem generuje ono zdarzenie o kodzie 1 z zadaniem czasem cyklu symulując w ten sposób ciągłość obserwacji przestrzeni powietrznej przez brt. Zdarzenie o kodzie 2 inicjuje zdarzenie pierwszej analizy sytuacji powietrznej na PkSD /3/. Następne zdarzenia o tym kodzie generowane są z zadaniem cyklem przez zdarzenie 3, co symuluje ciągłość analizy sytuacji powietrznej na PkSD. Zdarzenie o kodzie 3 może wygenerować zdarzenia o kodach 4 i 5, które z kolei generują zdarzenia 6 i 7 a te 8 i 9. W ten sposób powstaje ciąg zdarzeń opisanych kodem typu, czasem ich wystąpienia i uzupełnionych o elementy systemu z nimi związane. Każde nowe zdarzenie zapisywane jest w kalendarzu zdarzeń chronologicznie. Zapisu tego dokonuje podprogram aktualizacji, który wywoływany jest z podprogramów obsługi zdarzeń w każdym przypadku określającym powstanie nowego zdarzenia. Podprogram ten lokalizuje miejsce nowego zdarzenia, w kalendarzu, umieszcza je tam i aktualizuje stan zmiennej DK /długość kalendarza zdarzeń/.

Program główny przyjmując sterowanie od podprogramu obsługi kalendarza, przekazuje je do podprogramu podsumowania gry i edycji wyników.

### 3.2. Algorytmy podprogramów obsługi zdarzeń wyróżnionych w modelu działań bojowych SOPKT.

Każde z wyróżnionych zdarzeń w modelu działań bojowych SOPKT posiada swój podprogram obsługi. Podprogramy te realizują obliczenia związane z obsługiwany zdarzeniem, aktualizują stany elementów systemu i określają warunki wystąpienia zdarzeń będących jego następstwem.

#### 3.2.1. Algorytm obsługi zdarzenia, "obserwacja sytuacji powietrznej i wykrycie celu".

W procesie realizacji podprogramu obsługi tego zdarzenia określany jest zbiór celów obserwowanych przez pododdziały brt w analizowanym przedziale czasu. Dla każdego celu z tego zbioru obliczany jest prawdopodobny czas przyjęcia o nim meldunku oraz zobrazowania go na PłSD z uwzględnieniem możliwości czasowych posterunku wykrywającego. Następnie generowane są zdarzenia o kodzie 2 sygnalizujące czas przyjęcia meldunku o wspomnianych celach. Dla celów, o których meldunki wysłane były już do brt, a które nie znalazły się w zbiorze celów aktualnie obserwowanych zapamiętywana jest kolejna przerwa w radiolokacyjnym polu ich obserwacji.

Za każdym cyklem omawiane zdarzenie generuje czas wystąpienia następnego zdarzenia o tym samym kodzie, aż do momentu gdy posterunki nie będą już obserwowały żadnego obiektu.

Podprogram obsługi tego zdarzenia realizuje następujący ciąg czynności.

1. Sprawdź czy cel o nr I jest obserwowany przez jakikolwiek posterunek? Jeśli tak realizuj krok 7.
2. Sprawdź czy był wysłany meldunek o tym celu? Jeśli tak realizuj krok 10.
3. Czy sprawdzono wszystkie cele? Jeśli nie - to  $I := I + 1$ , realizuj krok 1.
4. Generuj czas wystąpienia następnego zdarzenia o kodzie 1.
5. Aktualizuj kalendarz zdarzeń.
6. Zakończ pracę i sterowanie oddaj do podprogramu obsługi kalendarza zdarzeń.
7. Generuj czas wystąpienia zdarzenia o kodzie 2.
8. Aktualizuj kalendarz zdarzeń.
9. Realizuj krok 3.
10. Zapamiętaj kolejną przerwę w polu obserwacji celu.
11. Realizuj krok 3.

### 3.2.2. Algorytm obsługi zdarzenia; "Przyjęcie meldunku o celu na PłSD i jego odwzorowanie".

Zasadniczymi czynnościami tego zdarzenia są: rejestracja faktu wykrycia celu i analiza ciągłości jego obserwacji. W wyniku realizacji podprogramu jego obsługi tworzony jest zbiór celów wykrytych przez pododziały brt. Zbiór ten jest ciągle aktualizowany danymi o nowych celach, o których przychodzą pierwsze meldunki

i zanikami celów, o których nie przyszedł trzy kolejne meldunki.

Zdarzenie to generuje czas pojawienia się zdarzenia o kodzie 3 początkującego cykl zdarzeń analizy sytuacji powietrznej na PłSD.

Algorytm podprogramu jego obsługi realizuje ciąg następujących czynności.

1. Sprawdź czy cel o numerze I jest tym, o którym przyszedł aktualny meldunek? Jeśli nie realizuj krok 5.
2. Sprawdź czy jest to pierwszy meldunek o tym celu? Jeśli nie to realizuj krok 4.
3. Umieść cel o nr I w zbiorze celów wykrytych, Realizuj krok 8.
4. Zapamiętaj fakt przyjscia kolejnego meldunku o celu o nr I. Realizuj krok 8.
5. Sprawdź czy cel o nr I jest w zbiorze celów wykrytych? Jeśli nie realizuj krok 8.
6. Zapamiętaj fakt braku kolejnego meldunku o celu już wykrytym. sprawdź czy nie było o nim trzech kolejnych meldunków? Jeśli nie to realizuj krok 8.
7. Usuń cel o nr I ze zbioru celów wykrytych.
8. Czy sprawdzono wszystkie cele? Jeśli nie - to  $I:=I+1$ , realizuj krok 1.
9. Sprawdź czy było generowane zdarzenie pierwszej analizy? Jeśli tak to realizuj krok 12.
10. Generuj zdarzenia pierwszej analizy /kod 3/.
11. Aktualizuj stan kalendarza zdarzeń.

12. Zakończ pracę i sterowanie przekaz do prodprogramu obsługi kalendarza.

3.2.3. Algorytm obsługi zdarzenia; "Analiza sytuacji powietrznej na PłSD i podjęcie decyzji o użyciu sił do walki".

Podprogram obsługi tego zdarzenia analizuje sytuację powietrzną w oparciu o zbiór celów wykrytych i określa warunki zaistnienia możliwych do realizacji oddziaływań środków walki systemu na te cele. Dokonywany jest przydział wspomnianych środków walki na zwalczanie celów i generowane są zdarzenia stawiania zadań wojskom raketowym i lotnictwu. Podzbiory celów możliwych do przydzielenia dywizjonom raketowym i lotnictwu tworzone są na bazie relacji czasowo-przestrzennych cel - dr i cel - L/S, obliczonych na etapie inicjacji gry symulacyjnej w oparciu o zależności przedstawione w punktach 2.3.1 i 2.3.2 rozdziału drugiego. Do podzbiorów tych zaliczane są cele, w stosunku do których istnieją możliwości postawienia zadań środkom walki systemu na ich zwalczanie w analizowanym przedziale czasu. Rozpatrując podział celów między wojska raketowe i lotnictwo uwzględnia się zasady współdziałania i określa następujące jego warianty:

- działania we wspólnej strefie z podziałem celów według wysokości;
- działania we wspólnej strefie z prowadzeniem ognia do jednego celu grupowego /przy założeniu, że spełnione

są warunki bezpieczeństwa samolotów własnych/;  
- działania w oddzielnych strefach.

Omówione wyżej warianty współdziałania wybierane są parametrycznie.

Algorytm podprogramu obsługi tego zdarzenia realizuje ciąg poniższych czynności.

1. Sprawdź czy cel o nr I jest w zbiorze celów wykrytych przez brt? Jeśli nie wykonaj krok 9.
2. Sprawdź czy cel o nr I jest w zbiorze celów przydzielonych dla lotnictwa? Jeśli nie wykonaj krok 4.
3. Sprawdź warunki współdziałania: czy odpowiadają one oddziaływaniu we wspólnej strefie do tego samego celu? Jeśli nie wykonaj krok 9.
4. Sprawdź czy cel o nr I wymaga jeszcze oddziaływania na niego? Jeśli nie wykonaj krok 9.
5. Sprawdź czy dywizjon o nr J ma możliwość wykonania oddziaływania na cel o nr I? Jeśli nie wykonaj krok 8.
6. Oblicz czas postawienia zadania dla dywizjonu o nr J na cel o nr I i sprawdź czy mieści się on w analizowanym przedziale czasu? Jeśli nie wykonaj krok 8.
7. Umieść dywizjon o nr J, cel o nr I oraz jego wagę względem analizowanego dywizjonu w odpowiednich zbiorach dla przydziału.
8. Czy sprawdzono możliwości oddziaływania wszystkich dywizjonów na cel o nr I? Jeśli nie - to :  
 $J:=J+1$ , wykonaj krok 5.

9. Czy dokonano analizy możliwości oddziaływania dywizjonów na wszystkie cele? Jeśli nie - to:  $I=I+1$ , wykonaj krok 1.
10. Sprawdź czy w analizowanym przedziale czasu w podzbiorze celów przydzielonych dla wojsk raketowych znajdują się jakieś cele? Jeśli nie to wykonaj krok 14.
11. Uporządkuj zbiory przydziału celów dla wojsk raketowych.
12. Dokonaj przydziału celów dla poszczególnych dywizjonów wykorzystując algorytm Forda - Fulkersona.
13. Dokonaj interpretacji wyników przydziału, aktualizuj podzbiór celów przydzielonych wojskom raketowym i zbiór dywizjonów zaangażowanych w walkę. Generuj zdarzenia o kodzie 5 /postawienie zadań dr /, aktualizując nimi kalendarz zdarzeń.
14. Przygotuj zbiory analizy użycia lotnictwa:  $I:=1$ .
15. Sprawdź czy cel o nr I jest w zbiorze celów wykrytych? Jeśli nie to wykonaj krok 27.
16. Sprawdź czy cel o nr I jest w zbiorze celów przydzielonych do zwalczania? Jeśli tak to wykonaj krok 27.
17. Sprawdź czy istnieje potrzeba oddziaływania na cel o nr I? Jeśli nie to wykonaj krok 27.
18. Sprawdź czy strefa dyżurowania lub lotnisko o nr J posiada potencjalne możliwości oddziaływania na cele? Jeśli nie to wykonaj krok 26.
19. Oblicz czasy rozpoczęcia naprowadzania i spotkania samolotów myśliwskich z celem o nr I uwzględniając możliwości czasowe: wyjścia ze strefy lub startu z lotnisk i manewrów.

20. Sprawdź możliwości realizacji naprowadzania samolotów myśliwskich ze strefy lub lotniska o numerze J na cel o numerze I. Jeśli takiej możliwości nie ma to wykonaj krok 26.
21. Sprawdź czy proces oddziaływania lotnictwa na cel o nr I zakończy się przed strefą ognia dywizjonów mogących go ostrzelać? Jeśli tak to wykonaj krok 25.
22. Sprawdź warunki współdziałania, czy odpowiadają działaniom we wspólnej strefie? Jeśli nie to wykonaj krok 26.
23. Sprawdź warunek współdziałania we wspólnej strefie: czy odpowiada działaniom do wspólnego celu? Jeśli tak to wykonaj krok 25.
24. Sprawdź warunek wysokości oddziaływania lotnictwa na cele. Jeśli nie jest on spełniony to wykonaj krok 26.
25. Unieść sterfę dyżurowania /lotnisko/ o nr J, cel o nr I oraz jego wagę względem nich i pozostałe elementy do odpowiednich tablic podzbioru celów do przydziału dla lotnictwa.
26. Sprawdź czy dokonano analizy możliwości oddziaływania ze wszystkich stref dyżurowania i lotnisk na cel o nr I? Jeśli nie - to:  $J:=J+1$ , wykonaj krok 18.
27. Sprawdź czy dokonano analizy oddziaływania lotnictwa na wszystkie cele? Jeśli nie - to:  $I:=I+1$ , wykonaj krok 15.
28. Sprawdź czy w podziorze celów przydzielonych dla lotnictwa znajduje się jakikolwiek cel. Jeśli nie to wykonaj krok 34.

29. Uporządkuj tablice podzbioru celów przydzielonych dla lotnictwa.
30. Sprawdź możliwości naprowadzania lotnictwa z poszczególnych stref dyżurowania /lotnisk/ na określone cele z podzbioru celów i stref /lotnisk/ przydzielonych przez zadane w ugrupowaniu punkty naprowadzania. W przypadku odmowy obsługi jakiegokolwiek relacji strefa /lotnisko/ - cel fakt ten odnotuj w odpowiednich tablicach podzbioru celów przydzielonych lotnictwu.
31. Uporządkuj tablice podzbioru celów przydzielonych dla lotnictwa.
32. Dokonaj przydziału oddziaływań z poszczególnych stref dyżurowania /lotnisk/ na określone cele według algorytmu Forda - Fulkersona.
33. Dokonaj interpretacji wyników przydziału, przydziel kanały PN do określonych relacji strefa /lotnisko/ - cel oraz generuj zdarzenia o kodzie 4 aktualizując nimi kalendarz zdarzeń. Aktualizuj podzbiór celów przydzielonych dla lotnictwa i stref /lotnisk/ zaangażowanych w walkę.
34. Generuj zdarzenie o kodzie 3 /następna analiza/.
35. Zakończ pracę i sterowanie przekaz do podprogramu obsługi kalendarza.

3.2.4. Algorytm obsługi zdarzenia: "Postawienie zadań dla plm".

Podprogram obsługi tego zdarzenia generuje zdarzenie walki samolotów myśliwskich z celem. Czas jego wystąpienia został obliczony w analizie możliwości oddziaływania lotnictwa na cele jako czas spotkania samolotów myśliwskich z celem po ich naprowadzeniu.

Podprogram obsługi zdarzenia o kodzie 4 realizuje ciąg poniższych czynności.

1. Wygeneruj zdarzenie o kodzie 6.
2. Aktualizuj kalendarz zdarzeń.
3. Zakończ pracę i przekaż sterowanie do podprogramu obsługi kalendarza.

3.2.5. Algorytm obsługi zdarzenia "Postawienie zadań dla dr".

W podprogramie obsługi tego zdarzenia określone są możliwości użycia rakiet w procesie ostrzelenia celu przez analizowany dywizjon. Ilość możliwych do wystrzelenia rakiet przez dr w danym oddziaływaniu obliczana jest w oparciu o zależność /2.45/. Następnie generowane jest zdarzenie walki dr z celem /7/, co odzwierciedla fakt przyjęcia zadania przez dywizjon.

Podprogram obsługi tego zdarzenia realizuje ciąg następujących czynności.

1. Oblicz ilość rakiet możliwych do odpalenia w procesie walki wskazanego dywizjonu z przydzielonym jeszcze do zwalczania celem.
2. Generuj zdarzenie o kodzie 7 i aktualizuj nim kalendarz zdarzeń.
3. Zakończ pracę i sterowanie przekaz do podprogramu obsługi kalendarza zdarzeń.

### 3.2.6. Algorytm obsługi zdarzenia, "Wyprowadzenie samolotów myśliwskich na cel oraz prowadzenie walki powietrznej".

W podprogramie obsługi tego zdarzenia obliczana jest prawdopodobieństwo przechwycenia celu przez samoloty myśliwskie wydzielone do jego zwalczania. Obliczenia realizowane są w oparciu o zależność /2.37a/

$$P_p = P_{at} \cdot P_{raz} \cdot K,$$

omówioną w rozdziale drugim. Prawdopodobieństwo wyjścia samolotu myśliwskiego do ataku  $P_{at}$  wyznaczone jest metodą Monte Carlo na bazie zależności opisujących elipsę błędów naprowadzania oraz stref wykrycia i początku zbliżania podane w punkcie 2.4.1 rozdziału drugiego.

Prawdopodobieństwo rażenia celu przez samoloty myśliwskie  $P_{raz}$  obliczane jest na podstawie zależności na prawdopodobieństwo zniszczenia celu przez grupę samolotów myśliwskich biorących udział w ataku.

$$P_{raz} = 1 - (1 - P_{arc})^n,$$

gdzie:

$P_{1rc}$  - prawdopodobieństwo rażenia celu przez pojedynczy samolot myśliwski,

$n$  - ilość samolotów myśliwskich biorących udział w ataku na pojedynczy samolot ze składu celu.

Obliczone na podstawie /2.37a/ prawdopodobieństwo przechwycenia celu przez samoloty myśliwskie stanowi podstawę dla testu Bernoulliego, przy pomocy którego oceniany jest fakt przechwycenia celu. W przypadku odpowiedzi pozytywnej oblicza się średni oczekiwany rezultat analizowanego oddziaływania, aktualizuje skład celu.

W każdym przypadku aktualizowany jest również stan wolnych kanałów naprowadzania i generowane jest zdarzenie o kodzie 8 - powrót samolotów myśliwskich na lotnisko i odtwarzanie gotowości bojowej.

Algorytm podprogramu obsługi tego zdarzenia realizuje ciąg następujących czynności.

1. Określ RLS naprowadzania samolotów myśliwskich na cel.
2. Oblicz błąd określania współrzędnych przez określoną w kroku 1 RLS.
3. Oblicz błąd czasu rozpoczęcia skrętu samolotów myśliwskich wychodzących do ataku.
4. Oblicz błąd określania i utrzymania kursu przez samoloty myśliwskie.
5. Oblicz błąd utrzymania reżimów skrętu przez pilotów samolotów myśliwskich.

6. Oblicz średnie kwadratowe błędy naprowadzania we współrzędnych X i Y ( $\sigma_x$   $\sigma_y$ ) określające elipsę błędów.
7. Wyznacz metodą Monte Carlo wartość prawdopodobieństwa wyjścia samolotów myśliwskich do ataku.
8. Oblicz prawdopodobieństwo przechwycenia celu przez samoloty myśliwskie.
9. Zastosuj test Bernoulliego w celu stwierdzenia faktu przechwycenia.
10. Czy przechwycenie nastąpiło? Jeśli nie to wykonaj krok 15.
11. Oblicz średni oczekiwany rezultat walki.
12. Sprawdź czy w wyniku przechwycenia zniszczone wszystkie samoloty ze składu celu? Jeśli nie to wykonaj krok 14.
13. Umieść cel w zbiorze celów zniszczonych, wykonaj krok 15.
14. Dokonaj aktualizacji stanu składu celu. Zapamiętaj wynik walki.
15. Oblicz czas powrotu samolotów myśliwskich na lotnisko i odtwarzania gotowości bojowej.
16. Generuj zdarzenie o kodzie 8 - powrót samolotów myśliwskich na lotnisko i odtwarzanie gotowości bojowej. Dokonaj aktualizacji kalendarza zdarzeń.
17. Dokonaj aktualizacji stanu wolnych kanałów naprowadzania.
18. Zakończ pracę i sterowanie przekaz do podprogramu obsługi kalendarza.

3.2.7. Algorytm obsługi zdarzenia; "Prowadzenie walki przez dr\_OPK".

Zdarzenie jakim jest prowadzenie walki przez dr OPK określa warunki zestrzelenia samolotu ze składu celu oraz

generuje zdarzenie odtwarzania gotowości bojowej przez dywizjon. Prawdopodobieństwo zniszczenia samolotu ze składu celu oblicza się w oparciu o zależności przedstawione w punkcie 2.4.2. rozdziału drugiego. Następnie testem Bernoulliego orzeka się zaistnienie lub też nie - faktu zniszczenia samolotu a wynik tej operacji zapamiętywany jest w odpowiednich tablicach. Generowane zdarzenia odtwarzania gotowości bojowej mogą być dwójakiego rodzaju.

Pierwszy rodzaj to zdarzenia związane z uzupełnianiem rakiet na wyrzutniach.

Natomiast drugi rodzaj zdarzeń odnosi się do odtwarzania gotowości bojowej związanej z cyklem strzelania dywizjonu, kiedy ten dysponuje jeszcze gotowymi rakietami na swych wyrzutniach.

Algorytm podprogramu realizuje ciąg następujących czynności.

1. Aktualizuj stan rakiet na wyrzutniach wskazanego w parametrach dywizjonu.
2. Sprawdź czy spełnione są warunki uzupełnienia rakiet na wyrzutniach? Jeśli nie to wykonaj krok 4.
3. Generuj zdarzenie 9 pierwszego rodzaju i aktualizuj stan kalendarza zdarzeń.
4. Oblicz prawdopodobieństwo zniszczenia celu przez dr OPK.
5. Zastosuj test Bernoulliego dla ustalenia faktu zniszczenia samolotu ze składu celu.
6. Czy nastąpiło zniszczenie samolotu ze składu celu?  
Jeśli nie to wykonaj krok 10.
7. Aktualizuj stan tablicy oddziaływania na cel.

8. Sprawdź czy atakowany cel został zniszczony całkowicie?  
Jeśli nie to wykonaj krok 10.
9. Umieść cel w zbiorze celów zniszczonych.
10. Oblicz czas możliwości ponownego otwarcia ognia przez dr.
11. Generuj zdarzenie 9 drugiego rodzaju i aktualizuj kalendarz zdarzeń.
12. Zakończ pracę i sterowanie przekaz do podprogramu obsługi kalendarza.

3.2.8. Algorytm obsługi zdarzenia; "Powrót samolotów myśliwskich na lotnisko i odtwarzanie gotowości bojowej".

Podprogram obsługi tego zdarzenia dokonuje aktualizacji stanu sił na wskazanym lotnisku gotowych do realizacji następnego zadania.

Podprogram obsługi tego zdarzenia realizuje następujące czynności.

1. Aktualizuj stan sił na lotnisku.
2. Zakończ pracę i sterowanie przekaz do podprogramu obsługi kalendarza zdarzeń.

3.2.9. Algorytm obsługi zdarzenia; "Odtwarzanie gotowości bojowej przez dr OPK".

Zdarzenie jakim jest odtwarzanie gotowości bojowej przez dr OPK aktualizuje stan rakiet na STZ i wyrzutniach po ich uzupełnieniu. Sprawdzane są tu możliwości kolejnego

otwarcia ognia do celu i w związku z tym dokonywane jest przenoszenie dr ze zbioru dywizjonów nie gotowych do zbioru dywizjonów gotowych do otwarcia ognia.

Podprogram obsługi tego zdarzenia realizuje ciąg następujących czynności.

1. Sprawdź czy jest to zdarzenie pierwszego rodzaju?  
Jeśli tak to wykonaj krok 4.
2. Sprawdź czy na wyrzutniach dr są rakiety gotowe do odpalenia? Jeśli nie wykonaj krok 6.
3. Umieść dr w zbiorze dywizjonów gotowych .
4. Dokonaj uzupełnienia rakiet na wyrzutniach dywizjonu,  
Aktualizuj stan wyrzutni i stan STZ.
5. Umieść dr w zbiorze dywizjonów gotowych do otwarcia ognia.
6. Zakończ pracę i sterowanie przekaz do podprogramu obsługi kalendarza.

### 3.3. Sposoby wykorzystania metody i przykład jej zastosowania.

Opracowana metoda służy do określania możliwości bojowych podstawowych rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym i umożliwia dokonanie ich oceny w warunkach zbliżonych do rzeczywistego pola walki.

Niektóre aspekty jej wykorzystania pozwalają stosować ją także na szczeblu operacyjno-taktycznym.

W procesie wypracowania decyzji do działań bojowych, metoda ta może być wykorzystana zarówno na szczeblu taktycznym jak też operacyjno-taktycznym.

Na szczeblu taktycznym można stosować ją do oceny wariantów działań bojowych i wyboru wariantu najbardziej korzystnego z punktu widzenia zadanych nieprzyjacielowi strat. Ponadto może ona służyć jako pomoc przy opracowaniu planu walki dla przyjętego wariantu działań bojowych. Na szczeblu operacyjno-taktycznym metoda ta może być zastosowana do wypracowania, zbliżonego do optymalnego, ugrupowania oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk w sektorze odpowiedzialności wybranego PłSD. W realizacji tego zadania należy wyróżnić dwa etapy.

1. Ocena możliwości bojowych sił i środków ugrupowanych w/g przyjętego wariantu w sektorze odpowiedzialności PłSD, w stosunku do różnych wariantów nalotu ŚNP nieprzyjaciela i określenie nalotu najtrudniejszego do odparcia.
2. Wybór najkorzystniejszego wariantu /z przedstawionych do oceny wariantów/ ugrupowania środków bojowych wspomnianych wojsk w celu odparcia określonego wyżej nalotu ŚNP nieprzyjaciela.

Za najtrudniejszy do odparcia wariant nalotu przyjmujemy ten, w stosunku do którego możliwości wojsk własnych są najniższe.

Natomiast najkorzystniejszym wariantem ugrupowania środków bojowych w sektorze odpowiedzialności analizowanego PłSD, będzie ten spośród przedstawionych wariantów, którego wskaźniki możliwości bojowych będą najwyższe.

Tak więc, mając zbiór najbardziej prawdopodobnych wariantów nalotu ŚNP nieprzyjaciela oraz wariant ugrupowania sił i środków w sektorze odpowiedzialności badanego PiSD, poprzez realizację etapu pierwszego określamy najtrudniejszy do odparcia nalot. Następnie wprowadzamy poprawki do badanego ugrupowania sił i środków opracowując kilka jego wariantów. Wyboru najkorzystniejszego z nich dokonujemy poprzez realizację etapu drugiego. Z wybranym wariantem ugrupowania powracamy do etapu pierwszego itd.

Proces ten kończymy gdy nowo wypracowane warianty ugrupowania sił i środków nie przynoszą widocznych korzyści w postaci zwiększonych wskaźników ich możliwości bojowych.

Powyższą procedurę można realizować w procesie organizacji działań bojowych.

Natomiast w przypadku gdy chcemy dokonać oceny sytuacji w krótkim czasie /odtworzenie ugrupowania w trakcie prowadzenia działań bojowych/, należy wykonać ją jednokrotnie w stosunku do określonego zbioru wariantów ugrupowania i jednego przewidywanego modelu nalotu ŚNP nieprzyjaciela, opracowanego w oparciu o zaistniałą sytuację i taktykę działań powietrznych przeciwnika.

W procesie badania wpływu parametrów taktyczno-technicznych sprzętu jak również elementów czasowo-przestrzennych walki na możliwości bojowe rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym, zaleca się stosować jeden wybrany model nalotu ŚNP nieprzyjaciela i jeden wariant ugrupowania sił i środków.

Metoda ta pozwala przebadac wpływ:

- parametrów taktyczno-technicznych RLS rozwijanych na RLP, na możliwości wykrywania obiektów i naprowadzania samolotów własnych na cele powietrzne oraz na błędy naprowadzania,
- czasu opóźnienia informacji radiolokacyjnej w relacji krt - brt na ilość możliwych do realizacji oddziaływań środków walki,
- parametrów taktyczno-technicznych środków rażenia /rakiety powietrze-powietrze, ziemia-powietrze/ na ilość udanych ataków,
- elementów czasowo-przestrzennych walki takich jak:  
rozmiieszczenie stref dyżurowania w powietrzu i czasy wejścia samolotów myśliwskich do stref, kąta kursowego ataku celu przez samolot myśliwski, czasu oddziaływania na cel.

Do parametrów taktyczno-technicznych RLS, których wpływ uwzględniono w modelu należą: takie jak: współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego, stożek martwy, błędy wskazania obiektu powietrznego w azymucie i odległości, oraz wielkości związane z pozycją RLP mianowicie: promień zaświecen terenowych, wysokość zawieszenia elementu promieniującego a także wskaźnik włączenia urządzenia TES.

Czynniki te określają rozmiary pola radiolokacyjnego wykrywania i naprowadzania, determinując ilość możliwych do realizacji oddziaływań. Błędy wskazań RLS są częścią składową błędów naprowadzania, które decydują o wynikach tych oddziaływań.

Czas opóźnienia informacji przy systemach nieautomatyzowanych decyduje bezpośrednio o ilości możliwych do zrealizowania ataków.

Parametry taktyczno-techniczne środków rażenia - przede wszystkim rakiet powietrze - powietrze i ziemia - powietrze mają swoje odzwierciedlenie w charakterystykach probabilistycznych. tj.: prawdopodobieństwie zniszczenia celu /dla rakiet używanych przez lotnictwo/ oraz parametrach umownego prawa zniszczenia celu /dla rakiet używanych przez artylerię/ i przestrzenno-czasowych takich jak: odległości minimalnej i maksymalnej odpalenia rakiet powietrze-powietrze, minimalnego promienia skrzywienia myśliwca ze względu na dopuszczalne przeciążenia rakiet czy czasu przygotowania rakiet ziemia-powietrze do odpalenia.

Wyszczególnione elementy czasowo-przestrzenne walki wpływają zarówno na ilość oddziaływań jak i na ich jakość /kąt kursowy ataku/.

Dokładny opis powyższych parametrów i procedura badania ich wpływu na możliwości bojowe analizowanych wojsk zawarte są w opisie programu /załącznik 1/.

Zastosowanie przedstawionej wyżej metody i sposób posługiwania się opracowanym na EMC programem, zilustrowane są na przykładzie rozwiązaniem dla założonej sytuacji taktycznej. Celem tego przykładu jest pokazanie, w jaki sposób dowódcy rodzajów wojsk mogą wykorzystać opracowaną metodę, stosując program na EMC, do oceny możliwości bojowych podległych im sił i środków a także jakie mogą uzyskać wskazówki do dalszej pracy nad wypracowaniem decyzji do działań

bojowych.

### 3.3.1. Przykład zastosowania metody.

W wyniku komplikującej się sytuacji polityczno-militarnej w Europie wynikła możliwość prowadzenia działań wojennych na północno-zachodnim kierunku operacyjno-powietrznym.

7 Korpus OPK, w składzie 9, 31 BAR. OPK, 31, 33 i 39 plm OPK oraz 7 BRT, broni przed rozpoznaniem i uderzeniami z powietrza zespołu obiektów administracyjno-przemysłowych i morskich TRÓJMIASTA i SZCZECIN SWINOUJSCIE oraz nie dopuszcza do przelotu ŚNP nieprzyjaciela w głąb terytorium kraju na wspomnianym kierunku.

Działające w jego rejonie obrony 9 BAR, 39 plm i 71 brt OPK otrzymały zadania:

- 9 BAR i 39 plm OPK bronić przed rozpoznaniem i uderzeniami z powietrza zespołu obiektów administracyjno-przemysłowych i morskich TRÓJMIASTA oraz nie dopuszczać do przelotu ŚNP nieprzyjaciela w głąb terytorium kraju na odcinku LEBA - BRANIEWO.

9 BAR OPK posiada siedem dywizjonów ogniowych wyposażonych w zestawy typu S-75M oraz cztery dywizjony ogniowe wyposażone w zestawy typu S-125 ugrupowane jak sytuacja wyjściowa na 9.00 26 marca /załącznik 3/.

39 plm OPK bazuje na lotniskach WEJHEROWO i PRUSZCZ - GDAŃSKI. Strefy dyżurowania i rubieże wprowadzenia do walki - jak sytuacja wyjściowa /zał. 3/.

- 71 brt OPK w składzie kompanii: radiolokacji, dowodzenia, węzła łączności oraz trzech kompanii radiotechnicznych i RLP skrytego pola. We współdziałaniu z 72, 73 i 63 brt OPK oraz siłami i środkami rozpoznania 9 BAR OPK, 3 b WOP ma wykrywać i rozpoznawać obiekty powietrzne oraz zabezpieczyć pod względem radiolokacyjnym działania bojowe 9 BAR i 39 plm OPK.

Pododdziały 71 brt są ugrupowane w rejonie miejscowości:

- STANISZEWO - 10 kompania radiolokacji w składzie R1S:

P-14, P-18, P-37, JAWOR-M2, JAWOR-M3,

3 x PRW-13, PRW-16, NIDA i BOGOTA-M;

- kompania dowodzenia i automatyzacji w składzie ZSD:

WP - 02U, WP - 03U i WP-11.

- kompanie łączności - sprzęt łączności.

- ŁEBA - 11 zkrat w składzie R1S: P-37, JAWOR-M2, PRW-13, NIDA oraz SZD WP-02U.

- HEL - 12 zkrat w składzie R1S: JAWOR-M2, P-18 NIDA oraz SZD WP-02U.

- RYCHLIKI - 13 zkrat w składzie R1S: P-18, PRW-13 oraz SZD WP-02U.

- KARTUZY - RLP skrytego pola radiolokacyjnego w składzie R1S: P-40, JAWOR-M2, PRW-9 i NIDA.

Na posterunkach radiolokacyjnych: 710, 711 zorganizowane są punkty naprowadzania samolotów myśliwskich na cele

powietrzne. Ponadto pododdziały batalionu zabezpieczają w dokładną informację radiolokacyjną 25, 27 i 29 doar 9 BAR OPK z wykorzystaniem radiolinii RL-30.

Jak wynika z komunikatu rozpoznawczego naloty mogą być wykonywane grupami samolotów typu F-4, F-104G, A-6, A-7, F-5N, JAGUAR, F-111, F-15 w składzie 4-8 samolotów na wysokościach do 600 m oraz 8-12 samolotów na wysokościach średnich i dużych.

Prędkości lotu samolotów przeciwnika w granicach 700-800 km/h na małych wysokościach oraz 900-1500 km/h na średnich i dużych.

Samoloty biorące udział w nalocie mogą być ugrupowane w 1-2 rzuty w odstępach czasowych wynoszących 10-15 minut między nimi. Rzuty mogą się składać z dwóch - trzech fal w odstępach czasowych 2-3 minuty między falami, w każdej fali 4-8 grup uderzeniowych. Zasadniczy kierunek zagrożenia północny i północno-zachodni.

Dowódcy BAR, plm i brt po zapoznaniu się z postawionym im zadaniem przez dowódcę korpusu, dokonali jego analizy i przystąpili do wypracowania swoich decyzji o użyciu podległych im wojsk do walki z przewidywanym nalotem ŚNP nieprzyjaciela.

Dla możliwie wnikliwego przeanalizowania możliwości bojowych swych wojsk w świetle zaistniałej sytuacji, postanowili wykorzystać sprzęt informatyczny sztabu dla dokonania obliczeń oceny możliwości bojowych wspomnianych wojsk w sektorze odpowiedzialności PiSD STANISZEWO.

Dla wykonania postawionego zadania informatycy wykorzystali program określania możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym "WALKA" przygotowując do niego dane według załączonej instrukcji.

Komplet danych zmiennych przedstawia załącznik 4 i 5.

W oparciu o przygotowane dane dokonali obliczeń przy pomocy wspomnianego programu na EMC ODRA-1305.

W wyniku realizacji programu uzyskali komplet wyników /załącznik 6/, który wraz z interpretacją, analizą i wnioskami przedstawili dowódcom poszczególnych rodzajów wojsk.

### 3.3.2. Interpretacja oraz analiza wyników obliczeń programu określania możliwości bojowych "WALKA".

Prezentowane wyniki obliczeń obejmują pięć tablic, z których dwie pierwsze przedstawiają możliwości 71 brt OPK w zakresie zabezpieczenia działań lotnictwa myśliwskiego i wojsk raketowych w informację radiolokacyjną wykrywania i naprowadzania. Problem zabezpieczenia przedstawiony jest w ujęciu czasowym początku i końca wykrycia i śledzenia poszczególnych celów na trasach ich przelotu przez odpowiednie posterunki radiolokacyjne i punkty naprowadzania. Dla każdego RLP i PN w stosunku do każdego celu powietrznego przewidziana jest jedna przerwa w polu radiolokacyjnym większa od czasu przesyłania trzech kolejnych meldunków.

Jak wynika z tablicy "Wykaz zabezpieczenia wykrywania i śledzenia celów przez WRT", czasy wykrycia poszczególnych celów kształtują się różnie i każdy z nich jest późniejszy od czasu rozpoczęcia nalotu /9.30/. Dla przykładu cel o numerze 1001 został wykryty najwcześniej mianowicie o godzinie 9.32.30, natomiast cel 1007 został wykryty najpóźniej tj. o godzinie 9.36.00. Czasy wykrycia pozostałych celów kształtują się w granicach od 9.33.00 do 9.36.00. Różny jest też czas śledzenia poszczególnych celów, który kształtuje się w granicach od 2.5 do 12.5 minut w zależności od wysokości i kierunku ich lotu. Ogólnie rzecz biorąc czasy śledzenia celów na kierunku północnym są nieco krótsze od czasów śledzenia celów na skierunku północno-zachodnim co świadczy o mniejszej strefie wykrywania z tego kierunku. Na trasie przlotu celu 1001 występuje przerwa w jego śledzeniu, która wynosi 1,5 minuty i spowodowana jest stożkiem martwym RLP 711. Oznacza to, że na wysokości 200 m strefa wykrywania RLP 710 nie obejmuje w całości stożka martwego RLP 711.

W tablicy "Wykaz zabezpieczenia naprowadzania LM na cele przez WRT" przedstawione zostały możliwości PN rozwiniętych na RLP 710 i 711 w zakresie zabezpieczenia LM w informację naprowadzania. Jak wynika z przedstawionego zestawienia kierunek północno zachodni /cele 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1009, 1010, 1011 i 1012/ zabezpieczony jest pod tym względem w stopniu zadawalającym, co oznacza możliwość oddziaływania LM na wszystkie cele z tego kierunku.

Natomiast na kierunku północnym istnieje możliwość oddziaływania tylko na cele 1013, 1014 i 1015. Oznacza to, że pozostałe cele są poza zasięgiem pola radiolokacyjnego naprowadzania i świadczy o powstałej luce we wspomnianym polu radiolokacyjnym na tym kierunku.

W tablicach trzeciej i czwartej przedstawione są wyniki oddziaływania lotnictwa myśliwskiego i artylerii rakietowej OPK na ŚNP nieprzyjaciela. Jak wynika z tablicy trzeciej, lotnictwo myśliwskie ma możliwość oddziaływania na cele 1009, 1010, 1011, 1012 lecące na wysokościach 900 i 1000 m. Pozostałe cele lecące na wysokościach od 100 do 300 m nie będą obsługiwane tak z dyżurowania w powietrzu jak i na lotniskach. W wyniku tych oddziaływań zostaną prawdopodobnie zniszczone trzy samoloty ze składu celów 1009, 1010 i 1011. Z analizy zestawienia ogólnego przedstawionego w tej tablicy wynika, że w stosunku do przyjętego nalotu 16 celów w składzie 84 samolotów nieprzyjaciela, lotnictwo myśliwskie dysponujące 12 możliwościami do zrealizowania oddziaływaniami wykona 10 z nich i zniszczy prawdopodobnie 3 samoloty. Przedstawiony w powyższej tablicy rozkład możliwych do zrealizowania oddziaływań lotnictwa na ŚNP nieprzyjaciela oraz fakt nie wykorzystania jego pełnych możliwości potencjalnych działania z lotnisk wynika bezpośrednio z dość późnego wykrycia celów przez WRT, co uniemożliwia wejście w kontakt z nieprzyjacielem powietrznym na pozostałych trasach lotu celów. Jak wynika z tablicy czwartej w odpiernaniu przyjętego modelu nalotu ŚNP nieprzyjaciela, z jedenastu dywizjonów artylerii rakietowej bierze udział siedem /25, 26, 27, 29, 69, 70, 71/.

Pozostałe dywizjony tj: 28, 30, 31 i 72 wyeliminowane zostały z walki ze względu na zbyt duże parametry na poszczególnych kursach lotu celów.

Przedstawiony w powyższej tabelicy rozkład oddziaływań dr OPK na cele powietrzne wynika bezpośrednio z wagi celów jak również z możliwości czasowych poszczególnych dywizjonów. Ogólnie rzecz biorąc artyleria raketowa ma możliwość zrealizowania dwunastu oddziaływań na cele i zniszczenia dziesięciu samolotów z ich składu przy użyciu 32 rakiet.

Wyniki sumaryczne oddziaływania środków walki na cele, w trakcie odpierania przyjętego modelu nalotu ŚNP przeciwnika przedstawione są w tabelicy 5 pn "Syntetyczne wskaźniki możliwości bojowych lotnictwa i artylerii rakietowej".

Z tabelicy tej wynika:

- lotnictwo myśliwskie przy wykorzystaniu sił z czterech elementów jego ugrupowania /dwie strefy dyżurowania w powietrzu i dwa lotniska/ ma możliwość wykonania 10 ataków, ostrzelania czterech celów i zniszczenia trzech samolotów ze średnim prawdopodobieństwem 0.2527 co daje efektywność bojową 4 %,
- artyleria raketowa wykorzystując działania ogniowe siedmiu dywizjonów, ma możliwość wykonania 12 ataków, ostrzelania dziesięciu celów i zniszczenia dziesięciu samolotów z ich składu z prawdopodobieństwem 0.8463, co daje efektywność bojową 12 %.

### 3.3.3. Wnioski z analizy wyników obliczeń programu określania możliwości bojowych "WALKA".

Z analizy przedstawionych wyników nasuwają się następujące wnioski.

1. Fakt nie wykorzystania pełnych możliwości bojowych lotnictwa myśliwskiego wynika bezpośrednio z ograniczonych rozmiarów pola radiolokacyjnego wykrywania i naprowadzania na wysokościach 100 - 300 m.

Poprawa parametrów wspomnianego pola na tych wysokościach szczególnie na kierunku północnym i rozwinięcie punktu naprowadzania na RLP 712 powinno przyczynić się do dalszej poprawy wskaźników jego wykorzystania.

Innym sposobem na wykorzystanie pozostałych możliwości lotnictwa, może być wysłanie części nie wykorzystanych sił do stref patrolowania i skierowanie ich do walki z celami nisko lecącymi.

2. Wykorzystanie artylerii raketowej w odpieraniu przyjętego nalotu ŚNP jest w zasadzie poprawne. Fakt niewykorzystania doar 28, 30, 31, 72 należy skonfrontować z zadaniem jakie otrzymała 9 BAR OPK. W przypadku gdyby nieprzyjaciel zdecydował się na realizację swych planów na szerszym froncie, 9 BAR OPK musi zapewnić odpieranie nalotu na odcinku LEBA - BRANIEWO.

## Wnioski końcowe

Zaprezentowana w toku rozprawy metoda określania możliwości bojowych podstawowych rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym /BAR, plm, brt/ w oparciu o modelowanie ich walki z wykorzystaniem symulacji komputerowej jest nową jakościowo metodą, pozwalającą wyznaczyć je w warunkach zbliżonych do rzeczywistego pola walki.

Wyraża się to poprzez uwzględnienie dynamiki dowodzenia wspomnianymi rodzajami wojsk z połączonego stanowiska dowodzenia oraz dynamiki samej walki i powiązań czasowo-przestrzennych pomiędzy poszczególnymi elementami ugrupowania w stosunku do określonego modelu nalotu.

Kompleksowe ujęcie problemu odparcia nalotu ŚNP nieprzyjaciela i analiza wyników symulowanej walki pozwalają uzyskać z dużym przybliżeniem rzeczywisty obraz możliwości bojowych wspomnianych wojsk w tym zakresie.

Metoda ta w swym zarysie merytorycznym zawiera pozytywne elementy metod przedstawianych w rozdziale pierwszym eliminując jednocześnie ich niedomagania zasygnalizowane we wnioskach do tego rozdziału.

Opracowanie algorytmu i programu na EMC podnosi jej walory użytkowe i stwarza możliwości wykorzystania jej do badań różnych wariantów ugrupowania wspomnianych wojsk w stosunku do przewidywanych modeli nalotu ŚNP nieprzyjaciela. Wykorzystanie opracowanego programu na EMC w procesie wypracowania decyzji do działań bojowych przez sztaby i dowództwa wspomnianych rodzajów wojsk pozwoli w stosunkowo krótkim czasie przebadać opracowane warianty ich użycia i

wyciągnąć wnioski umożliwiając wybór rozwiązań zbliżonych do optymalnych, przyczyniając się jednocześnie do możliwie pełnej realizacji postawionych zadań.

W pracy przedstawiony został przykład taktyczny ilustrujący zastosowanie powyższej metody do określenia możliwości bojowych rodzajów wojsk OPK na szczeblu taktycznym. W przykładzie tym ujęte zostały takie elementy ugrupowania jak BAR, plm, brt, co nie wyklucza przyjęcia do rozważań nad tym problemem, w stosunku do wojsk raketowych, związku taktycznego jakim jest dywizja artylerii raketowej /DAR/.

Opracowany program na EMC po niewielkich dopracowaniach uwzględniających obieg informacji na szczeblu operacyjno-taktycznym umożliwi w przyszłości zastosowanie go do analizy możliwości bojowych rodzajów wojsk OPK na tym szczeblu.

Potrzeba takiego podejścia do tego problemu wynika bezpośrednio z wymogów współczesnego pola walki to jest: dużej dynamiki działań i krótkiego czasu na podejmowanie decyzji. Ponadto, szersze spojrzenie na problemy użycia wojsk OPK w procesie odpierania nalotów ŚNP nieprzyjaciela /zwłaszcza lotnictwa/, pozwoli osiągnąć dalszy postęp w ich efektywnym wykorzystaniu.

Do osobistego wkładu w opracowanie powyższej problematyki zaliczam:

- zdefiniowanie systemu wojsk OPK na szczeblu taktycznym oraz jego analizę i syntezę /pkt. 1.3.2/;
- opracowanie modelu symulacyjnego walki wymienionego wyżej systemu /rozdział II/;
- opracowanie algorytmu realizacji modelu oraz programu na EMC wraz z instrukcją jego eksploatacji /załączniki 1 i 4/;
- przedstawienie sposobów wykorzystania opracowanej metody i przykładu jej zastosowania.

Autorowi wydaje się, że mimo przyjętych założeń i uproszczeń w modelu symulacyjnym walki wspomnianych wojsk, opracowana metoda może stanowić wygodne narzędzie oceny ich możliwości bojowych. Powstały błąd w określeniu możliwości bojowych rozważanych wojsk nie ma większego wpływu na jakość dokonywanych ocen, gdyż jest on identyczny w każdym przypadku. Dlatego też wyniki tych ocen mogą być z powodzeniem stosowane jako miara względna możliwości odparcia ŚNP nieprzyjaciela przez siły i środki ugrupowane według kilku różnych wariantów.

Metoda może być wykorzystana do określania możliwości bojowych rozważanych wojsk OPK przez szczeble dowodzenia taktyczny i operacyjno-taktyczny zarówno w procesie organizacji działań jak też ich prowadzenia. Może być także stosowana w pracach naukowo-badawczych z omawianej dziedziny oraz w procesie dydaktycznym w ASG WP.

W zakończeniu chciałbym podziękować promotorowi Ob. płk doc. dr hab. Romanowi KULCZYCKIEMU za kierowanie moją pracą, Szefowi Katedry Przedmiotów Specjalnych płk doc. dr Romanowi DWORAKOWI oraz wszystkim kolegom, którzy służyli mi radą i udzielali cennych wskazówek.

## Zakończenie

Opracowana rozprawa doktorska stanowi próbę kompleksowego spojrzenia na problem oceny możliwości bojowych wojsk OPK na szczeblu taktycznym.

Założony cel pracy: wypracowanie metody określania możliwości bojowych tych wojsk w oparciu o model ich walki z wykorzystaniem symulacji komputerowej, starałem się osiągnąć poprzez zbudowanie wspomnianego modelu walki i jego realizację na EMC.

Stąd też gros wysiłku skupiłem na opracowaniu modelu, wykorzystując w tym celu teorię Analizy Systemów, w zakresie identyfikacji systemów ich analizy i syntezy oraz konstruowania ich modeli, do systemu jaki na szczeblu taktycznym wojsk OPK tworzą BAR, plm, brt wraz z ich wspólnym ogniwem dowodzenia - połączonym stanowiskiem dowodzenia. Jednocześnie starałem się aby opracowany model był w miarę adekwatny do rozwiązywanych problemów.

W literaturze nie spotkałem podobnego tak szerokiego spojrzenia na ten problem, stąd też, zważywszy iż jest to pierwsza próba jego kompleksowego rozwiązania na tym szczeblu z pewnością nie jest ona doskonałą i wymagać będzie, w procesie weryfikacji, pewnych korekt.

Mam nadzieję, że opinie przyszłych użytkowników metody pozwolą zweryfikować przyjęte założenia a dalsza praca nad tymi zagadnieniami umożliwi wyeliminowanie ukrytych mankamentów i stworzy podstawę do podobnego opracowania na szczeblu operacyjno-taktycznym.

BIBLIOGRAFIA

1. ADAMCZYK A., ANTCZAK S.: Możliwości wczesnego wykrycia obiektu powietrznego przez stacje radiolokacyjne PWL, WOPK 10/76.
2. ADAMCZYK A., ZABŁOCKI E.: Metoda oceny efektywności wykorzystania lotnictwa myśliwskiego korpusu OPK. /rozprawa doktorska/., ASG 1978r.
3. ANTCZAK S.: Zastosowanie niektórych metod badań operacyjnych do oceny pola radiolokacyjnego dla wykrywania obiektów powietrznych na małych wysokościach w brygadzie radiotechnicznej korpusu obrony powietrznej kraju /rozprawa doktorska/., ASG 1978r.
4. BARCZAK A.: Analiza procesów informacyjnych realizowanych w polowym zautomatyzowanym podsystemie dowodzenia ogólnowojskowego związku taktycznego z zastosowaniem symulacji komputerowej /rozprawa doktorska/., ASG 1976r.
5. L. von BERTALANFFY.: General System theory. General System, vol 1, New York 1956r.
6. Biuletyn informacyjny nr.2 /122/. MON, Warszawa 1976r.
7. BRAZERT Z.: Wybrane zagadnienia z teorii naprowadzania PRK w zestawie S-125 "NEWA". CSSAIR OPK 1972r.
8. CZUJEW J.: Badania operacji w wojsku. MON, Warszawa 1972r.
9. DIACZENKO J.T., ZAKREWSKIJ P.P.: Osnovy metodiki opriedielenija bojowych wozmożnostiej istrebitielej. Moskwa 1970r.
10. DRUŻYNIN W.W., KONTOROW D.S.: Problemy sistemologii Sowietskoje Radio, Moskwa 1976r.
11. DWORAK R.: Skuteczność przechwytywania. ASG, Warszawa 1978r.

12. EVANS G.W., WALLANS G.F., SUTHERLAND G.L.: Symulacja na maszynach cyfrowych. WNT, Warszawa 1973r.
13. FRANCIS F., MARTIN.: Wstęp do modelowania cyfrowego. PWN, Warszawa 1976r.
14. GORDON G.: Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974r.
15. GRIGORIANC W.G.: Technicheskoje pokazateli radiolokacjonnych stancji. Wojennoje Izdatielstwo, Moskwa 1963r.
16. GRYSIEWICZ E.: Metodyka określenia możliwości przechwytywania środków napadu powietrznego z dyżurowania na lotnisku. ASG, Warszawa 1975r.
17. GRYSIEWICZ E.: Metody określenia możliwości przechwytywania środków napadu powietrznego z dyżurowania w powietrzu i patrolowania. ASG, Warszawa 1976r.
18. HOOKE R., SHAFFER D.: Modele matematyczne a rzeczywistość. WNT, Warszawa 1969r.
19. JAKOBCZYK S.: Pułk lotnictwa myśliwskiego OPK. ASG, Warszawa 1976r.
20. KALMAN R.E., FALB P. I., ARIB M. A.: Topics in mathematical system theory. New York 1969r.
21. KAMIENSKI W.N.: Szturmanskoje obiespieczeniye wojennykh diestwiy. WWS, Monino 1961r.
22. KIEREBINSKI H.: Projekt modelowego systemu kierowania ogniem oddziału /ZT/ wojsk raketowych OPK /OWAL - 2A/ cz.II. ASG Warszawa 1976r.
23. KROPIOWSKI T.: Brygada wojsk raketowych OPK. ASG, Warszawa 1975r.
24. KULCZYCKI R.: Algorytmizacja procesów kierowania ogniem jednostek raketowych i artylerii p-lot. /rozprawa doktorska/.

25. KULCZYCKI R.: Ocena efektywności ugrupowania bojowego oddziału /ZT/ WR OPK w odpieraniu nalotu przeciwnika /SALWA/. ASG, Warszawa 1975r.
26. KULIKOWSKI R.: Sterowanie w wielkich systemach Warszawa 1970r.
27. MAKSIMOW M.W., GORGONOW G.T.: Radiouprawlenije rakietami. Sowietskoje Radio, Moskwa 1964r.
28. MESAROWIC M.D.: Wiews on general systems theory. New YORK 1964r.
29. MILGRAM J.G., POPOW N.S.: Bojewaja efektiwnost awiacionnoj tiechniki i isledowanije opieraczi. Izdanije WWIA 1970r.
30. MILLER B.: Błędy naprowadzania PRK, PWL i WOPK 5/1976r.
31. MILLER B.: Współrzedne prawo zniszczenia celu. PWL i WOPK 3/1976r.
32. NIEUPOKOJEW F.K.: Strelba zenitnymi raketami wojenizdat 1970r.
33. Ocena efektywności zabezpieczania radiolokacyjnego działań bojowych wojsk OPK. ASG styczeń 1981r.
34. Oczerki po matiematiczeskoj tieorii sistem. Moskwa 1971r.
35. PIATKOWSKI E., GRZESZEK E.: Batalion radiotechniczny wojsk OPK. ASG, Warszawa 1973r.
36. PIETER J.: Ogólna metodologia pracy naukowej. PWN, Wrocław, Warszawa, Kraków 1967r.
37. Pokonywanie obrony przeciwlotniczej nieprzyjaciela przez lotnictwo frontowe. DWL Poznań 1978r.
38. POKRUSZYNSKI W.: Kierowanie ogniem dywizjonów ognio-  
wych na szczeblu pułku /brygady/ WR OPK. ASG  
Warszawa 1971r.

39. Problemy metodologii badań systemowych.  
WNT, Warszawa 1973r.
40. ROGUCKI A.: Analiza systemów w planowaniu obrony.  
MON, Warszawa 1975r.
41. SADOWSKI W.N.: K woprosu o metodologicznych przy-  
ncypach issledowanija predmiotow predstavljajuszozich  
soboj sistem. Problemy metodologii i logiki nauk,  
Tańsk 1962r.
42. SIENKIEWICZ P.: Istota symulacji jako metody badawczej  
MW 8/1975r.
43. SIENKIEWICZ P.: Analiza i synteza systemów w naukach  
wojennych i technicznych. MW 1/1974r.
44. SIMONNARD M.: Programowanie liniowe. PWN, Warszawa 1967r.
45. SZTURMOWICZ R.: Wskaźniki możliwości bojowych lotnictwa  
myśliwskiego i wykazystanie ich w procesie organizacji  
i prowadzenia działań bojowych. ASG, Warszawa 1968r.
46. Taktyka wojsk raketowych Obrony Powietrznej Kraju.  
MON DWOPK, Warszawa 1972r.
47. Taktyka wojsk radiotechnicznych Wojsk Obrony Powietrznej  
Kraju. MON DWOPK, Warszawa 1977r.
48. TKACZENKO P.N.: Matematicheskie modeli bojowych dziej-  
stwij; Matematicheskie metody modelirowanija bojowych  
diejstwij takticzeskich podrazdielenij pri pomoszczi  
elektronnych wyczislitelnych maszin. Sowietskoje Radio,  
Moskwa 1969r.
49. Vademecum Wojsk Obrony Powietrznej Kraju. MON DWOPK,  
Warszawa 1971r.
50. WAKIN S.A., SZUSTOW L.N.: Zasady przeciwdziałania ra-  
dioelektronicznego. MON, Warszawa 1970r.

51. WINKOWSKI J.: Programowanie symulacji procesów.  
WNT, Warszawa 1974r.
52. ZABŁOCKI E.: Podstawy taktyki lotnictwa myśliwskiego  
OPK. ASG, Warszawa 1976r.
53. ZABŁOCKI E., ADAMCZYK A.: Metoda oceny efektywności  
wykorzystania lotnictwa myśliwskiego Korpusu Obrony  
Powietrznej Kraju /rozprawa doktorska/. ASG, Warszawa  
1978r.
54. Zasady strzelania przeciwlotniczymi raketami kierowanymi  
zestawu S-75 M /Wołchow/. MON DWOPK, Warszawa 1977r.
55. Zasady strzelania przeciwlotniczymi raketami kierowanymi  
zestawu S-125 /Newa/. MON DWOPK, Warszawa 1976r.
56. Zasady strzelania przeciwlotniczymi raketami kierowanymi  
zestawu SA-75M /Dźwina/. MON DWOPK, Warszawa 1975r.
57. ZIELENIECKI H.: Organizacja zespołów ludzkich.  
Warszawa 1964r.
58. ZIELINSKI R.: Generatory liczb losowych. WNT,  
Warszawa 1972r.
59. ZON A.: Podstawowe wiadomości z zasad strzelania przeciwlotniczymi raketami kierowanymi systemu 75 przez pułk artylerii raketowej OPK. ASG , Warszawa 1966r.
60. ŻEBROWSKI M.: Organizacja i prowadzenie działań bojowych przez pułk lotnictwa myśliwskiego OPK. ASG,  
Warszawa 1973r.

Wydrukowano w 5 egz.  
Egz.nr 1-5 Bibl.Nauk DZS  
Wyk.mjr Kierebiński  
Druk J.B.dn.16.2.84 r.  
Druk ASG WP nr 0666/WW

