

9/3968



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

AON wewn. 8097/98

Pracownicy naukowe

Egz. Nr ...25

Ppłk nawig. dr inż. Piotr MAKOWSKI
Mjr dypl. nawig. Wiesław MARUD

WYZNACZANIE MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH LOTNICTWA DLA REALIZACJI ZADAŃ OBRONY POWIETRZNEJ

51456

WARSZAWA

1998

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OBRONY POWIETRZNEJ

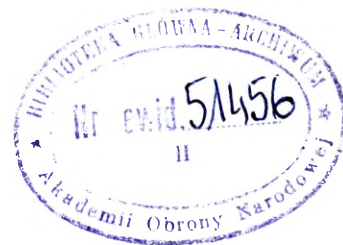
PRZEKLASYFIKOWANO
Protokół Nr 54305

JAWNE

AON wewn. 5097/98

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

Egz. Nr ...2.5



Pptk nawig. dr inż. Piotr MAKOWSKI

Mjr dypl. nawig. Wiesław MARUD

**WYZNACZANIE MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH LOTNICTWA DLA
REALIZACJI ZADAŃ OBRONY POWIETRZNEJ**

Spis treści

WSTĘP	5
1. POJĘCIE MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH	7
2. SKUTECZNOŚĆ BOJOWA LM	9
2.1. Prawdopodobieństwo zniszczenia celu powietrznego	9
2.2. Oczekiwana liczba zniszczonych celów powietrznych i efektywność bojowa lotnictwa myśliwskiego	11
2.3. Potrzebna liczba samolotów myśliwskich do realizacji zadania	16
3. WSKAŹNIKI CHARAKTERYZUJĄCE PRZESTRZEŃ DZIAŁANIA LOTNICTWA MYŚLIWSKIEGO	17
3.1. Definicje podstawowych wskaźników przestrzennych LM i ich interpretacja ..	17
3.2 Kryterium nawigacyjne wykonania zadań osłony	29
3.3. Określanie położenia potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki	32
3.3.1. Wyznaczanie położenia PRWW podczas ataku w tylną półsferę celu	32
3.3.2. Wpływ zmiany prędkości lotu samolotu myśliwskiego po wprowadzeniu w tylną półsferę celu powietrznego na położenie PRWW	35
3.3.3. Wyznaczanie położenia PRWW podczas ataku w przednią półsferę celu powietrznego	38
3.3.4. Położenie PRWW w wariacie współdziałania lotnictwa myśliwskiego z naziemnymi aktywnymi środkami walki OP	40
3.3.5. Wybór racjonalnych parametrów obliczeń przy wyznaczaniu położenia PRWW	42
3.4. Określanie położenia możliwej rubieży wprowadzenia do walki	45
3.4.1. Metody określania możliwości przechwytywania celów powietrznych przez LM z dyżurowania na lotnisku	45
3.4.2. Metody określania możliwości przechwytywania celów powietrznych przez LM z dyżurowania w powietrzu	66

4. WSKAŹNIKI CZASOWYCH MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH.....	78
4.1. Definicje podstawowych wskaźników i ich interpretacja	78
4.2. Uprozczone metody obliczania wartości wybranych wskaźników możliwości czasowych	83
Zakończenie	90
Bibliografia.....	91
Załączniki	92

WSTĘP

W ostatnich latach siły powietrzne wielu państw wzbogaciły się o kolejne nowe generacje samolotów myśliwskich oraz środków rażenia klasy powietrze-powietrze i to pomimo ogólnych trudności gospodarczych i stałych trendów rozbrojeniowych panujących na Świecie. Pozwala to sądzić, że w najbliższej perspektywie czasu znaczenie lotnictwa myśliwskiego nie będzie się zmniejszać. Wynika to z wagi zadań jakie lotnictwo myśliwskie ma do wypełnienia w systemach współczesnej obrony powietrznej. Pojawienie się samolotów wielozadaniowych, łączących cechy typowych myśliwców i samolotów uderzeniowych (myśliwsko-bombowych i szturmowych) służy nie tylko podniesieniu efektywności działań ofensywnych, ale także wzmocnieniu siły współczesnej obrony powietrznej. Współczesna obrona powietrzna może bowiem dysponować wysokospecjalizowanymi samolotami myśliwskimi jak również samolotami wielozadaniowymi. Dlatego też, używana przez autorów w niniejszym materiale nazwa „lotnictwo myśliwskie” pełni swego rodzaju funkcję skrótu myślowego, który odnosi się do zadań defensywnych jakie może pełnić lotnictwo myśliwskie i wielozadaniowe w obronie powietrznej.

Właściwa ocena możliwości bojowych lotnictwa podczas wykonywania zadań defensywnych na współczesnym polu walki staje się zatem jednym z nieodzownych warunków racjonalnego wykorzystania zarówno samolotów myśliwskich jak i wielozadaniowych. Ocena ta jest bowiem potrzebna jako znaczący składnik strumienia informacji, w oparciu o który przebiega proces generowania możliwych do realizacji wariantów działań i wyboru z pośród nich tego, który ma zostać wdrożony, planowania i stawiania zadań, w tym także wypracowywania decyzji w czasie odpierania przeciwnika powietrznego. Celem oceny możliwości bojowych jest więc wypracowanie danych informacyjnych potrzebnych w procesie dowodzenia.

Stosowane metody¹ oceny możliwości bojowych lotnictwa są ściśle związane z rozwojem matematyki, a także narzędzi wspomagających prowadzenie kalkulacji taktyczno-operacyjnych, w tym zwłaszcza komputerów. Metody matematyczne są tylko aparatem pozwalającym tworzyć jedynie ilościowe modele rzeczywistości, mniej

¹ Pod pojęciem metody należy rozumieć całokształt ogólnych założeń badawczych, wytycznych w postępowaniu naukowym lub sposób ujmowania badanych faktów. W znaczeniu ogólnym jest to sposób postępowania, świadomy i powtarzalny wybór działania. Encyklopedia powszechna – PWN 1973r.

lub bardziej adekwatne do niej, wykorzystywane przez specjalistów wojskowych do rozwiązywania problemów taktycznych. Właściwe ich wykorzystanie wymaga głębokiej znajomości przez użytkownika zjawisk współczesnego pola walki (taktyki) i samych metod, zwłaszcza w aspektach założeń upraszczających leżących u ich podstaw.

W niniejszym opracowaniu poza podstawowymi definicjami najważniejszych wskaźników możliwości bojowych podano sposoby i metody ich określania. Materiał przeznaczony jest dla studentów AON Wydziału WLiOP, głównie jako pomoc w przygotowaniu się do ćwiczeń. Pełne zrozumienie zawartych w nim treści wymaga znajomości podstawowych zagadnień z taktyki lotnictwa myśliwskiego, zabezpieczenia nawigatorskiego, zastosowania bojowego uzbrojenia lotniczego jak i techniki lotniczej i radiolokacji. W celu ułatwienia wyboru danych wejściowych podczas prowadzenia kalkulacji operacyjno-taktycznych według zamieszczonych w materiale metod w załącznikach podano szereg danych taktyczno-technicznych współczesnych statków powietrznych i ich uzbrojenia (załączniki 1÷5).

1. POJĘCIE MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH

Lotnictwo myśliwskie jest przeznaczone głównie do osłony wojsk i innych ważnych obiektów lub kierunków powietrznych oraz innych rodzajów lotnictwa przed rozpoznaniem i uderzeniem ŚNP przeciwnika. Osłonę tę realizuje sposobem dyżurowania na lotniskach i w powietrzu, jak również w czasie samodzielnego poszukiwania i zwalczania celów powietrznych.

Właściwości charakteryzujące **zdolność** LM do realizacji zadań bojowych polegających na niszczeniu środków napadu powietrznego przeciwnika w trakcie realizacji zadań osłony, nazywane są możliwościami bojowymi. Zdolność ta wynika z szeregu czynników towarzyszących procesom walki zbrojnej.

Powyższe określenie implikuje konieczność uwzględniania w ocenie tych możliwości zarówno właściwości taktyczno-technicznych samolotów myśliwskich i ich systemów uzbrojenia, jak i właściwości systemu dowodzenia, ugrupowania bojowego i sposobu działań LM, a także uwarunkowań wnoszonych przez przeciwnika powietrznego.

O zdolności LM do realizacji zadań przesądzają zarówno rezultaty jego oddziaływań na przeciwnika powietrznego jak i szeroko rozumiane rezultaty działań tegoż przeciwnika². Osłona obiektów czy kierunków wyprowadzających na te obiekty będzie skuteczna wówczas, gdy bojowe oddziaływanie LM na ŚNP nastąpi wcześniej niż zostaną zaatakowane bronione obiekty. Wynika stąd, że o tym, czy LM wykona zadanie czy też nie, decyduje nie tylko wielkość zadanych przeciwnikowi strat, ale także gdzie i w jakim momencie działań bojowych to nastąpi. Aby przewidzieć szansę realizacji zadania przez LM w konkretnej sytuacji operacyjno-taktycznej należy zatem ocenić jego skuteczność ogniewą w niszczeniu przeciwnika powietrznego z jednoczesnym uwzględnieniem miejsca i czasu rozgrywania ewentualnych walk powietrznych. W praktyce możliwości bojowe LM charakteryzowane są pewnymi umownymi miarami liczbowymi zwanymi wskaźnikami możliwości bojowych.

Wartości tych wskaźników stanowią jedno z zasadniczych kryteriów oceny planowanych wariantów użycia LM. Metodyki określania wskaźników możliwości bojowych LM mogą być także użyteczne w badaniach efektywności systemów OP i

² Zarówno w odniesieniu do bronionych przez LM obiektów uderzeń jak i samolotów myśliwskich.

określaniu pewnych wymagań taktyczno - technicznych w odniesieniu do samolotów myśliwskich przyszłości. Głównym celem oceny możliwości bojowych w procesie dowodzenia LM jest wypracowanie danych potrzebnych do podejmowania racjonalnych decyzji o użyciu omawianego lotnictwa.

Wskaźniki możliwości bojowych LM jako umowne miary liczbowe, charakteryzujące zdolności do wykonywania zadań posiadają swoje definicje, metodyki obliczania wartości oraz interpretacje taktyczne. Wskaźniki te można podzielić na trzy grupy:

- skuteczności bojowej;
- możliwości przestrzennych;
- możliwości czasowych.

Są one ze sobą ściśle powiązane, a ich oceny dokonuje się z zasady dla konkretnego lub przewidywanego zadania bojowego i warunków działań, przy zastosowaniu odpowiednich metodyk (zależności) ich obliczania. Należy podkreślić, że metodyki te są tylko modelami matematycznymi istniejącej rzeczywistości i nie zawsze w sposób adekwatny ją oddają. Obliczane podczas oceny sytuacji wartości poszczególnych wskaźników możliwości bojowych LM są więc tylko wynikami kalkulacji, które decydenci powinni umieć właściwie interpretować. Powinni oni mieć pełną świadomość wpływu założeń upraszczających, leżących u podstaw tych kalkulacji, na rzetelność wyciąganych wniosków operacyjno-taktycznych przy pomocy omawianych wskaźników. Omawiane wskaźniki są zatem jednym z narzędzi wspomagających ocenę sytuacji i podejmowanie decyzji o użyciu LM, zaś pierwszym warunkiem umiejętnego posługiwania się tym narzędziem jest jego poznanie.

2. SKUTECZNOŚĆ BOJOWA LM

Wskaźników skuteczności bojowej używa się, by charakteryzować rezultaty działań bojowych w aspekcie ich efektywności³ lub oszacować potrzeby ilościowe angażowania sił i środków do realizacji zadań. Przy ocenie skuteczności działań LM stosuje się takie wskaźniki jak:

- prawdopodobieństwo zniszczenia (przechwycenia) celu powietrznego przez pojedynczy samolot myśliwski;
- oczekiwaną liczbę zniszczonych ŚNP;
- potrzebną liczbę samolotów myśliwskich do przechwycenia nakazanej liczby ŚNP.

2.1. Prawdopodobieństwo zniszczenia celu powietrznego

Prawdopodobieństwo zniszczenia (przechwycenia) celu powietrznego (P_P) stanowi podstawowe ogniwo metodyk określania ilości samolotów potrzebnych do wykonania zadania, a także oczekiwanej liczby zniszczonych celów.

Niszczenie ŚNP przez pojedynczy samolot myśliwski, jako zdarzenie losowe, powinno następować z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż obliczona wartość omawianego wskaźnika. Przechwytywanie ŚNP jest zwykle poprzedzone szeregiem zdarzeń losowych, takich jak: wykrycie ŚNP lub naprowadzenie samolotu myśliwskiego na cel powietrzny, pokonanie przeciwdziałania radioelektronicznego i ogniowego przeciwnika, wykonanie ataku, rażenie celu przy bezawaryjnej pracy urządzeń technicznych. Są one zwykle traktowane w pierwszym przybliżeniu jako zdarzenia niezależne, co znacznie upraszcza analizę matematyczną ich wpływu na wartość P_P . Każde z tych zdarzeń ma charakter losowy i może być określone prawdopodobieństwem jego zaistnienia. W wypadku naprowadzania samolotów

³ Całokształt możliwości systemu osiągnięcia celów; wskaźnikiem może być:

- stopień osiągnięcia celów (skuteczność);
- relacja między korzyściami a nakładami (ekonomiczność);

myśliwskich, znając wartości prawdopodobieństw omawianych zdarzeń, można obliczać P_P z zależności 2.1.

$$P_P = P_N \cdot P_{PD} \cdot P_{PO} \cdot P_{AT} \cdot P_R \cdot K_{NZ}; \quad (2.1.)$$

gdzie:

P_P - prawdopodobieństwo zniszczenia celu powietrznego;

P_N - prawdopodobieństwo naprowadzenia;

P_{PD} - prawdopodobieństwo pokonania przeciwdziałania radioelektronicznego przeciwnika;

P_{PO} - prawdopodobieństwo pokonania przeciwdziałania ogniowego przeciwnika;

P_{AT} - prawdopodobieństwo wyjścia do ataku;

P_R - prawdopodobieństwo rażenia celu;

K_{NZ} - współczynnik niezawodności technicznej sprzętu.

W wypadku samodzielnego poszukiwania i zwalczania ŚNP przez samoloty myśliwskie prawdopodobieństwo zniszczenia celu powietrznego można obliczać za pomocą poniżej przedstawionej zależności:

$$P_P = P_{WYKR} \cdot P_{PD} \cdot P_{PO} \cdot P_{AT} \cdot P_R \cdot K_{NZ} \quad (2.2.);$$

gdzie:

P_{WYKR} - prawdopodobieństwo wykrycia celu powietrznego.

Znajomość powyższych zależności pozwala łatwo określić najłabsze ogniwa w łańcuchu przedsięwzięć towarzyszących realizacji zadań przez LM.

Wartości prawdopodobieństwa zniszczenia celu przez pojedynczy samolot myśliwski (jak i prawdopodobieństw zdarzeń składających się na nie), określa się z zasady metodami statystycznymi, na podstawie doświadczeń z ćwiczeń i konfliktów lokalnych oraz drogą badań naukowych przy wykorzystaniu metod analitycznych. Należy jednak zauważyć, że określanie wymienionych prawdopodobieństw metodami analitycznymi nie jest łatwe. Określenie na przykład P_R , wymaga rozwiązania skomplikowanych zadań oceny: dokładności zastosowania bojowego uzbrojenia, wrażliwości celu na rażące działanie środków rażenia i warunków ich spotkania z celem, niezawodności systemów technicznych, a także oczekiwanego rezultatu

przeciwdziałania przeciwnika oraz innych czynników wpływających na wykonanie zadania.

2.2. Oczekiwana liczba zniszczonych celów powietrznych i efektywność bojowa lotnictwa myśliwskiego

Oczekiwana liczba zniszczonych celów jest podstawowym wskaźnikiem skuteczności bojowej LM. Wyniki walk powietrznych można traktować jako zmienną losową. Przyjmując zwycięstwo w walce za sukces, a niekorzystny jej wynik za porażkę oraz znając wartość prawdopodobieństwa zaistnienia tych zdarzeń, możemy określić funkcję rozkładu zmiennej losowej (dystrybuanta) jako rozkład zerojedynkowy. Pozwala to definiować oczekiwaną liczbę sukcesów (zniszczonych celów - zwycięstw w walkach powietrznych) jako wartość oczekiwaną zmiennej losowej⁴ i obliczać ją znanymi w rachunku prawdopodobieństwa metodami. Jeżeli przyjąć, że zwycięstwo w walce powietrznej można charakteryzować prawdopodobieństwem zniszczenia celu - P_P , to zdarzenie przeciwne polegać będzie na zakończeniu walki własną porażką lub remisem, w którym żadna ze stron nie odniesie zwycięstwa. Mamy wówczas do czynienia z rozkładem dwumianowym zmiennej losowej. W takich wypadkach, wartość oczekiwaną liczby zniszczonych celów możemy obliczać jako wartość oczekiwaną liczby sukcesów - N w schemacie Bernoulli'ego według zależności:

$$N = M \cdot P_P; \quad (2.3.)$$

gdzie:

M – liczba prób;

P_P – prawdopodobieństwo sukcesu w jednej próbie.

Prawdopodobieństwo, że liczba sukcesów wyniesie N jest w tym wypadku równa 0.5. Wynika to oczywiście z sensu matematycznej wartości oczekiwanej. Jest to poziom ufności obliczeń, który bywa często w kalkulacjach operacyjno-taktycznych nazywany prawdopodobieństwem gwarancyjnym (gwarantowanym) – P_G .

⁴ Zwanej także wartością przeciętną, średnią, nadzieją matematyczną lub esperancją.

Poszukiwanie prognozowanej liczby zwycięstw N^* przy innym prawdopodobieństwie gwarantowanym niż 0.5 jest bardziej skomplikowane. Na przykład, dla $P_G=0.8$, które zwykle się przyjmować podczas obliczania rezultatów grupowych walk powietrznych między samolotami nie stanowiącymi zagrożenia jądrowego (wówczas $P_G=0.95$), obliczenie wartości omawianej wielkości wymaga wyliczenia jej z równania:

$$P_G = 0.8 = \sum_{i=0}^{N^*-1} \frac{M!}{i!(M-i)!} \circ P_p^i \circ (1 - P_p)^{M-i}; \quad (2.4.)$$

gdzie:

N – oczekiwana liczba sukcesów;

M – liczba prób;

P_p – prawdopodobieństwo sukcesu w jednej próbie.

P_G – prawdopodobieństwo gwarantowane uzyskania N sukcesów w M próbach;

W kalkulacjach operacyjno-taktycznych do określania oczekiwanych wartości liczby zniszczonych samolotów przeciwnika powietrznego wykorzystuje się metody analityczne lub grafo-analityczne. Warunkiem uzyskania rzetelnych wyników tych kalkulacji jest uprzednie określenie możliwości przestrzenno-czasowych LM w zwalczaniu ŚNP i możliwości systemu dowodzenia, by stwierdzić, czy wszystkie brane pod uwagę oddziaływania LM na ŚNP są fizycznie możliwe.

Omawiany wskaźnik może służyć jako ostateczne kryterium oceny rozważanych wariantów użycia LM w wypadku wykonywania zadań zwalczania przeciwnika określonymi siłami tego lotnictwa, bez kategorycznego określania rezultatów w postaci nakazanej liczby zniszczonych ŚNP. Każdy bowiem z wariantów działań będzie charakteryzował się, sobie właściwą, oczekiwaną liczbą zniszczonych ŚNP. Przy tak formułowanym zadaniu najbardziej pożądane będzie zadanie przeciwnikowi jak największych strat, a więc uzyskanie jak największej wartości wskaźnika. Należy zauważyć, że takie formułowanie zadań dla LM jest najczęściej spotykane w praktyce, stąd też wynika rola oczekiwanej liczby zniszczonych ŚNP jako kluczowego wskaźnika skuteczności bojowej LM.

Ocena rezultatów grupowych walk powietrznych rozumiana jako określanie wskaźników opisujących jej spodziewane rezultaty w wymiarze ilościowym jest ogniwem w badaniu efektywności wykorzystania lotnictwa i systemu obrony

powietrznej metodami formalnymi. Truizmem byłoby podnoszenie dzisiaj wagi metod formalnych⁵, gdy ich teoretyczny do niedawna charakter nabral obecnie w czasach rewolucji informatycznej czysto praktycznego wymiaru w formie aplikacji komputerowych wspomagających procesy decyzyjne.

Użycie lotnictwa myśliwskiego rozpatrywane jest obecnie z reguły w kontekście zadań, jakie ma ono do wykonania w obronie powietrznej lub podczas zabezpieczenia działań innych rodzajów lotnictwa. Stąd wspomaganie procesu decyzyjnego w tak szerokim kontekście wymaga formalizacji metod oceny efektywności systemu kierowania i uzbrojenia, zarówno samego LM jak i całego otoczenia kooperującego⁶ z nim w czasie realizacji zadania bojowego. Wybór racjonalnych wariantów działań (w tym wykorzystania LM), formalnymi sposobami wymaga zatem opracowania matematycznego modelu walki i wybrania kryterium wyboru (optymalności). Jako kryterium wyboru np. w czasie wykonywania zadań obrony powietrznej można przyjąć stan osłony bronionych obiektów, a w wypadku osłony lotnictwa uderzeniowego - ostateczny rezultat wykonanych uderzeń. Takie podejście jest ze wszech miar słuszne, ale kompleksowość rozwiązania wymaga rozwiązania wielu innych problemów przyczynkowych i w najbliższej przyszłości w naszych warunkach najprawdopodobniej nie powstanie.

Współcześnie uważa się, że LM wykonujące zadania w systemie OP będzie działać z reguły w oddzielnych strefach odpowiedzialności (np. FAOR-Fighter Area of Responsibility). Wynika to z wymogów zapewnienia bezpieczeństwa własnemu lotnictwu i jest konsekwencją przyjmowania, jako obligatoryjnych, proceduralnych zasad kontroli przestrzeni powietrznej.

Do grupowych walk powietrznych, pożądaných w aspekcie planów przynajmniej jednej ze stron, będzie dochodzić w określonym obszarze przestrzeni powietrznej i w czasie, w którym siły lotnicze będą z zasady jedynymi aktywnymi

⁵ Metody formalne to procedury przekształcające daną teorię by przybrała ona postać systemu sformalizowanego, czyli systemu dedukcyjnego przedstawionego w postaci zbioru formuł zadaniowych, z których każda jest aksjomatem, bądź powstała z aksjomatów przy pomocy stosowania odpowiednich reguł dowodowych (wnioskowania). Postacie systemów sformalizowanych mają teorie matematyczne i logiczne.

⁶ Działanie wielopodmiotowe, w którym każdy z uczestników liczy się z czynami innych;

kooperacja pozytywna – współdziałanie (zgodność celów);

kooperacja negatywna – walka, odznaczająca się niezgodnością celów (rywalizacja); Sienkiewicz Piotr, „Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania” Warszawa 1994.

środkami walki. Uzasadnia to podejście, w którym rozpatrywane są jedynie skutki działań uczestników walk powietrznych i ich elementów zabezpieczających.

Jednym z wielu kryteriów wyboru przyjmowanym w analizie decyzyjnej jest kryterium **Bayesa**⁷. Istotą tego kryterium jest preferowanie tego wariantu działań, dla którego wartość oczekiwana (nadzieja matematyczna, wartość przeciętna) przyjętego wskaźnika użyteczności (WU) jest maksymalna.

Jako wskaźnik użyteczności, w wypadku lotnictwa, wygodnie jest przyjąć np. oczekiwany stosunek potencjałów bojowych stron biorących udział w walce po jej zakończeniu. Kryterium optymalizacji można zatem zapisać w postaci zależności:

$$WU = \max\left[\frac{PB_w(x)}{PB_p(x)}\right]; \quad (2.5.)$$

gdzie;

x-wariant użycia sił przez strony, $x \in X$ – zbiór możliwych wariantów działań stron;

$PB_w(x)$ -oczekiwany własny potencjał bojowy po realizacji wariantu x;

$PB_p(x)$ -oczekiwany potencjał bojowy przeciwnika po realizacji wariantu x;

Poprzez potencjał bojowy rozumie się zazwyczaj całokształt zdolności systemu walki niezbędny do osiągnięcia celów walki reprezentowany przez całość zasobów systemu i reguł jego celowego użycia. W wypadku lotnictwa będzie to zatem suma potencjałów bojowych samolotów biorących w danym wariantcie udział w grupowej walce powietrznej

Można to zapisać w formie zależności:

$$PB = \sum_i^M \lambda_i; \quad (2.6)$$

gdzie:

M –ogólna liczba samolotów;

λ_i – współczynnik jakości i-tego samolotu⁸;

⁷ Sienkiewicz Piotr, „Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania” Warszawa 1994.

⁸ Dla przykładu w państwach NATO często w kalkulacjach operacyjnych przyjmuje się samolot F-16 jako jednostkę kalkulacyjną, a pozostałe typy samolotów posiadają współczynniki jakościowe odpowiednio różne.

Aby określić oczekiwane potencjały bojowe obu stron po walce powietrznej należy znać potencjały wyjściowe obu stron i określić oczekiwane straty poniesione przez uczestników walki powietrznej w danym wariancie działań (x). Ilustrują to zależności:

$$PB_W(x) = PB_W(0) - \sum_i^{N_W(x)} \lambda_i; \quad (2.7.)$$

$$PB_P(x) = PB_P(0) - \sum_i^{N_P(x)} \lambda_i; \quad (2.8.)$$

gdzie:

$PB_W(0)$, $PB_P(0)$, – odpowiednio zakładany własny (przeciwnika) wyjściowy potencjał bojowy;

$N_W(x)$, $N_P(x)$ – odpowiednio oczekiwane straty własne i przeciwnika w wariancie x ;

λ_i – współczynnik jakości i -tego samolotu straconego w walce.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że potencjał bojowy biorących udział w walce liczony przytoczoną metodą pozwala uwzględniać potencjał zarówno LM jak i lotnictwa zabezpieczanego przez nie (np. LMB, LT, LR itp.).

Znajomość oczekiwanych strat jest więc koniecznym warunkiem, by móc prowadzić metodami formalnymi ocenę efektywności według określonego wyżej kryterium.

Ponadto należy podkreślić, że jeżeli zamiast wartości oczekiwanych strat uwzględnimy prognozowane straty przy określonych prawdopodobieństwach gwarancyjnych (P_G) innych niż $P_G=0,5$, to w łatwy sposób możemy korzystać z innych znanych kryteriów wyboru uwzględniających poziom ryzyka. Dla przykładu, przy założonym wysokim prawdopodobieństwie gwarantowanym, możemy określać minimalne efekty jakie są możliwe do osiągnięcia w danym wariancie działań i zająć się ich maksymalizacją (kryterium **Walda**).

Problematyka określania współczynników jakości określonych typów samolotów jako średnich ważonych uogólniających szereg danych taktyczno-technicznych była i jest przedmiotem badań.

2.3. Potrzebna liczba samolotów myśliwskich do realizacji zadania

Potrzebna liczba samolotów myśliwskich do realizacji zadania (niszczenia celu powietrznego) określa minimalną liczbę samolotów myśliwskich niezbędną do zniszczenia zadanej liczby ŚNP, w określonych warunkach operacyjno-taktycznych, z prawdopodobieństwem zajścia tego zdarzenia nie mniejszym niż ustalone (gwarantowane).

Wartości tego wskaźnika są wykorzystywane w procesie decyzyjnym wtedy, gdy w zadaniu dla LM jest ściśle określone, jaką liczbę ŚNP ze składu określonego celu powietrznego należy zniszczyć. Ocenia się wówczas, czy do tak postawionego zadania wystarczy samolotów myśliwskich jakimi dysponujemy, a jeśli tak, to ile ich potrzeba wyznaczyć do jego wykonania, by zapewnić realizację zasady ekonomii sił i środków. Podobnie jak w wypadku oczekiwanej liczby zniszczonych ŚNP, potrzebna liczba samolotów myśliwskich do wykonania zadania powinna być określana z uwzględnieniem warunków działań bojowych, przestrzennych i czasowych możliwości samolotów myśliwskich oraz możliwości środków rozpoznania i dowodzenia. W praktycznych kalkulacjach wykorzystywane są metody analityczne i grafo-analityczne.

Podstawowe sposoby określania wartości liczbowych powyższych wskaźników są opisane w literaturze specjalistycznej⁹ z zakresu teorii skuteczności bojowej.

⁹ Na przykład podręcznik S. Rękas, P. Makowski „Ocena efektywności systemów uzbrojenia lotniczego podczas zwalczania celów powietrznych i naziemnych” AON, 1994.

3. WSKAŹNIKI CHARAKTERYZUJĄCE PRZESTRZEŃ DZIAŁANIA LOTNICTWA MYŚLIWSKIEGO

Rozwój możliwości technicznych urządzeń graficznego zobrazowywania sytuacji powietrznej na stanowiskach dowodzenia obroną powietrzną (LM) umożliwia również przedstawianie interpretacji graficznej wybranych wskaźników charakteryzujących przestrzenne możliwości działań bojowych LM. Stąd też w ostatnich latach ich ranga w ocenie sytuacji stale wzrasta.

3.1. Definicje podstawowych wskaźników przestrzennych LM i ich interpretacja

Do najważniejszych wskaźników możliwości przestrzennych LM w realizacji zadań bojowych należą:

- taktyczny promień działania;
- zasięg bojowego oddziaływania;
- położenie rubieży taktyczno-nawigacyjnych, a zwłaszcza:
- odległość możliwej rubieży wprowadzenia do walki;
- odległość potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki;
- odległości rubieży zniszczenia celu powietrznego;
- minimalna wysokość lotu ŚNP, która zapewnia możliwość wprowadzania LM do walki na nakazanych (potrzebnych) rubieżach;
- odległość potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej.

Należy podkreślić, że na stanowiskach dowodzenia i naprowadzania LM w czasie dowodzenia samolotami LM w powietrzu, a zwłaszcza podczas naprowadzania samolotów myśliwskich na cele powietrzne, wykorzystuje się ponadto inne rubieże taktyczno-nawigacyjne takie jak np.:

- rubież podania komendy na start samolotu myśliwskiego;
- rubież startu;

- rubież podania pilotowi kursu;
- rubież początku manewru samolotu myśliwskiego;
- rubież przechwycenia celu powietrznego;
- rubież wyprowadzenia z walki.

Największą odległość na jaką może lecieć samolot myśliwski, wykonać zadanie (stoczyć walkę powietrzną) i powrócić na lotnisko startu nazywamy promieniem taktycznym (R_T). Wartość tego wskaźnika dla danego typu samolotu LM zależy od wariantu napełnienia paliwem i uzbrojenia, warunków lotu na przechwycenie i paliwa dysponowanego na walkę powietrzną, a także od warunków atmosferycznych na trasie lotu. Oblicza się go zgodnie z metodykami prowadzenia obliczeń zasięgu i długotrwałości lotu dla danych typów statków powietrznych, wykonując bilans paliwa dla każdego elementu lotu na przechwycenie. Wartość R_T , szczególnie dla samolotów myśliwskich, powinna być obliczana, gdy znany jest sposób realizacji zadania (skład grupy, ugrupowanie, etapy i warunki lotu oraz paliwo potrzebne na walkę powietrzną).

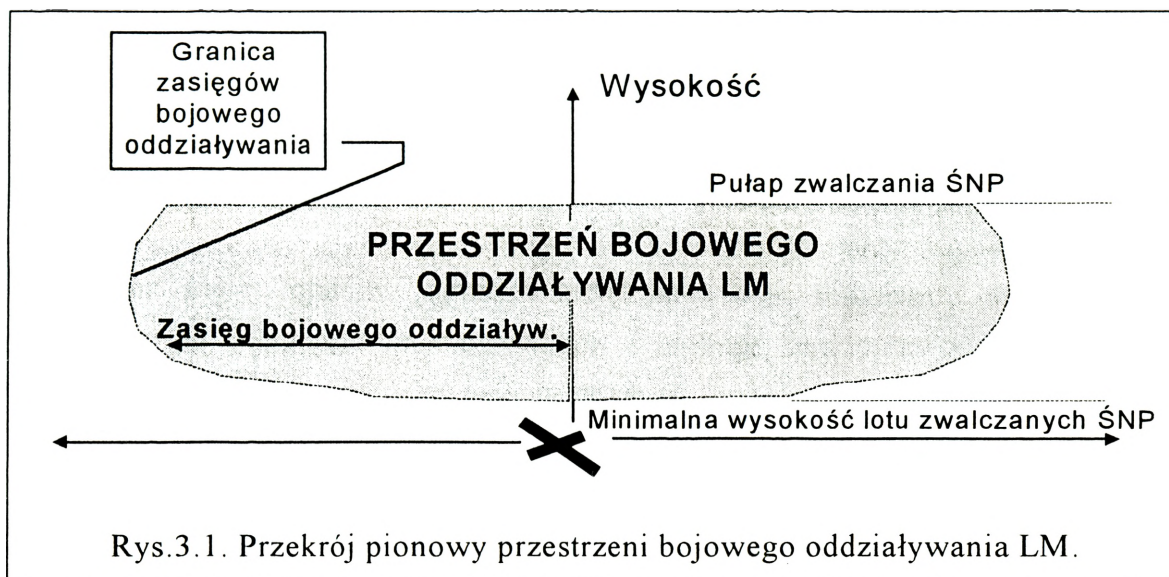
Analiza, w aspekcie zużycia paliwa lotniczego¹⁰, typowych wariantów walk powietrznych prowadzonych podczas szkolenia lotniczego może dostarczyć niezbędnych danych do przygotowania zestawień i wykresów promieni taktycznych samolotów myśliwskich już w okresie pokoju.

Omawiany wskaźnik określa graniczne możliwości przestrzenne statków powietrznych. Jego znajomość jest szczególnie istotna podczas planowania zadań osłony przez LM innych rodzajów lotnictwa, wykonujących zadania nad terenem przeciwnika.

Przestrzeń bojowego oddziaływania LM jest częścią przestrzeni powietrznej, wokół lotnisk bazowania w granicach której samoloty myśliwskie mogą wykonać zadanie bojowe (niszczyć ŚNP). Można ją opisać: górną granicą - w postaci pułapu przechwytywanych ŚNP, dolną granicą - w postaci minimalnej wysokości lotu

¹⁰ W omawianej analizie wykorzystuje się przede wszystkim wyniki obiektywnej kontroli lotów.

zwalczanych ŚNP oraz zasięgami bojowego oddziaływania, które wyznaczają granicę boczną omawianej przestrzeni. Ilustruje to rysunek 3.1.



Rys.3.1. Przekrój pionowy przestrzeni bojowego oddziaływania LM.

Górna i dolna granica przestrzeni bojowego oddziaływania LM zależy od parametrów taktyczno-technicznych samolotów myśliwskich i ich systemów uzbrojenia.

Zasięg bojowego oddziaływania jest definiowany jako maksymalna odległość od lotnisk bazowania, na której możliwe jest niszczenie ŚNP przez samoloty myśliwskie. Zależy on od:

- przestrzennych możliwości wprowadzenia¹¹ samolotów myśliwskich do walki¹²;
- przestrzeni potrzebnej na walkę powietrzną;
- sposobu ataku i zasięgu środków rażenia LM.

Przestrzenne możliwości wejścia LM do walki ze ŚNP charakteryzuje położenie możliwych rubieży wprowadzenia do walki.

Możliwa rubież wprowadzenia do walki (MRWW) to linia będąca zbiorem możliwych położenia samolotów myśliwskich w przestrzeni podczas

¹¹ W wyniku naprowadzenia samolotów LM na cel w systemie naprowadzania lub też samodzielnego wejścia do walki.

¹² Poprzez wejście do walki samolotu myśliwskiego rozumie się zajęcie taktycznie dogodnego położenia względem atakowanego ŚNP umożliwiające samodzielną realizację kolejnych etapów walki powietrznej.

najwcześniejszego (od momentu wykrycia ŚNP) wejścia ich do walki ze ŚNP wykonującymi lot z określoną wysokością i prędkością przy założonych warunkach lotu na przechwycenie.

Z powyższej definicji wynikają bezpośrednio następujące konsekwencje:

- równość bilansów czasów ŚNP i samolotów myśliwskich do momentu rozpoczęcia walki powietrznej;
- zakładana trajektoria lotu na przechwycenie danego typu samolotu myśliwskiego powinna być zgodna z dopuszczalnymi reżimami lotu i bilans dysponowanego paliwa na doloł do MRWW powinien pozwalać na wykonanie zadania.
- wariant uzbrojenia i zakładane warunki wejścia do walki powinny zapewniać skuteczne rażenie ŚNP.

Minimalny czas dysponowany przez LM na doloł do MRWW jest tym większy im:

- ŚNP zostaną wcześnie wykryte i system dowodzenia działa sprawniej;
- czas potrzebny na rozpoczęcie lotu na przechwycenie jest krótszy;
- mniej czasu potrzeba na wykonanie manewrów wprowadzających do walki.

O położeniu MRWW decyduje przede wszystkim wartość minimalnego czasu jakim dysponuje LM na wejście do walki. W wypadku gdy jest on odpowiednio długi i LM działa z lotnisk, odległość MRWW od tych lotnisk pokrywa się z promieniem taktycznym samolotów myśliwskich¹³.

W wypadku, gdy samoloty myśliwskie dysponują uzbrojeniem pozwalającym na wykonanie ataku w przednią półsferę ŚNP (tzn. w momencie odpalenia pocisków samolot atakowany i atakujący poruszają się z kursami przeciwnie przecinającymi się), określa się zwykle położenia MRWW dla tego sposobu ataku jak i dla ataku w tylną półsferę celu¹⁴.

¹³ Jest to sytuacja typowa przy pełnym zabezpieczeniu działań LM w informację, np. w warunkach zabezpieczenia działań LM przez powietrzne elementy systemu wczesnego wykrywania i naprowadzania.

¹⁴ Kiedy to atakowany i atakujący poruszają się z kursami zgodnie przecinającymi się w momencie odpalenia pocisków (strzelania z broni pokładowej).

Odległość MRWW (D_{MRWW}) liczona jest zazwyczaj względem położenia wyjściowego samolotów LM w momencie wykrycia ŚNP. Podstawą do obliczeń tej odległości są zależności analityczne opierające się na warunkach minimalizacji i równości bilansów czasów samolotów LM i ŚNP potrzebnych na dotarcie do MRWW, uwzględniające także aspekty zużycia paliwa lotniczego. W kalkulacjach operacyjno-taktycznych wykorzystuje się mało dokładne zależności uproszczone i metody graficzne. Rzetelność obliczeń może zapewnić wykorzystywanie programów komputerowych oraz możliwości rozwiązywania tego zadania z pomocą zautomatyzowanych systemów dowodzenia lub aparatury przyrządowego naprowadzania LM.

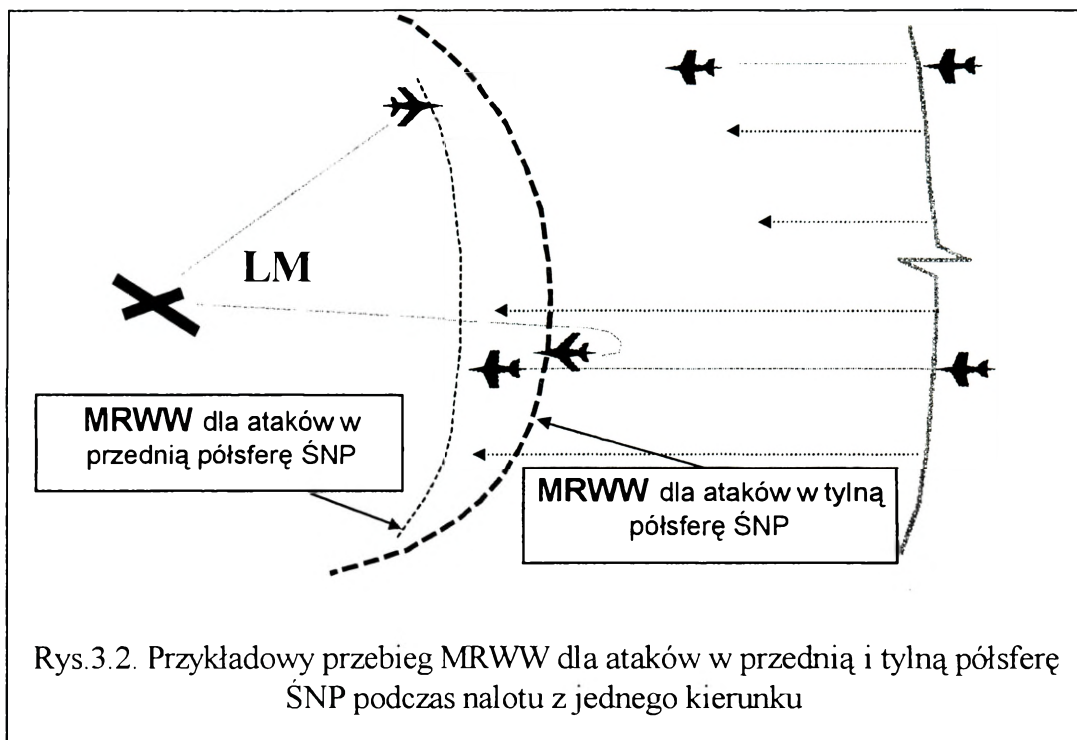
W celu uproszczenia zależności matematycznych, za pomocą których wyznacza się położenie MRWW bardzo często przyjmuje się, że trasa lotu ŚNP przebiega w pobliżu lotniska (strefy dyżurowania) i ataki będą wykonywane „pod niewielkimi sylwetkami celu¹⁵”. Umożliwia to sprowadzenie zadania kalkulacyjnego do jednego wymiaru¹⁶ i algebraiczne sumowanie wielkości wektorowych, jakimi są parametry prędkościowe lotu myśliwca i celu, dla uzyskania rozwiązania.

Należy podkreślić, że dla jednego ŚNP, wykonującego lot z określonego kierunku, będzie istniał teoretycznie jeden punkt w przestrzeni, w którym samolot myśliwski (grupa) będzie w stanie najwcześniej rozpocząć walkę powietrzną, od momentu wykrycia celu.

Położenie i przebieg MRWW zależy między innymi od kierunku i charakteru spodziewanego nalotu ŚNP. Przykładowy przebieg omawianej rubieży dla spodziewanego nalotu ŚNP na szerokim froncie z jednego kierunku, dla różnych sposobów ataku, ilustruje rysunek 3.2.

¹⁵ Sylwetkę celu definiuje się w teorii strzelania powietrznego jako sinus kąta kursowego celu powietrznego, czyli kąta jaki tworzą wektory prędkości celu i myśliwca.

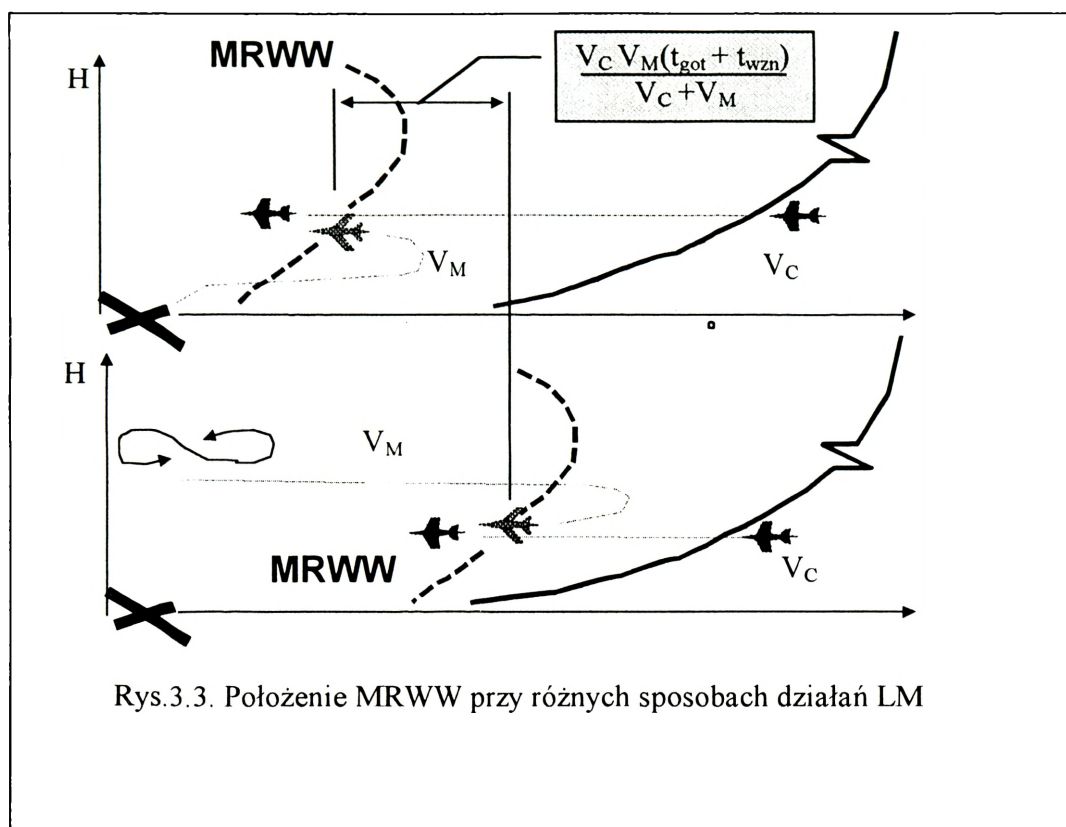
¹⁶ Czyli pozbawienie zadania określania położenia MRWW aspektu przestrzennego.



Znaczne wysunięcie MRWW w kierunku spodziewanego nalotu ŚNP uzyskuje się poprzez stosowanie sposobu przechwytywania ŚNP z dyżurowania w powietrzu. Eliminuje się wówczas z bilansu czasu samolotów myśliwskich czas potrzebny na osiągnięcie gotowości do startu i start (t_{got}), a także część czasu potrzebnego na ewentualne wznoszenie (t_{wzn}). Ilustruje to rys. 3.3.

Położenie MRWW pozwala określić, gdzie mogą być wprowadzane do walki samoloty LM na konkretne ŚNP i czy oddziaływanie jest możliwe w aspekcie przestrzenno-czasowym. Jest ono jednym z kryteriów decyzji o zwalczaniu wykrytego ŚNP lotnictwem myśliwskim. Podczas oceny sytuacji i stawiania zadań dla LM, operuje się pojęciem rubieży wprowadzenia do walki¹⁷ po to, by dla bezpośrednich wykonawców jednoznacznie określić gdzie powinny być wprowadzane do walki samoloty (bo tam praktycznie powinny być kierowane).

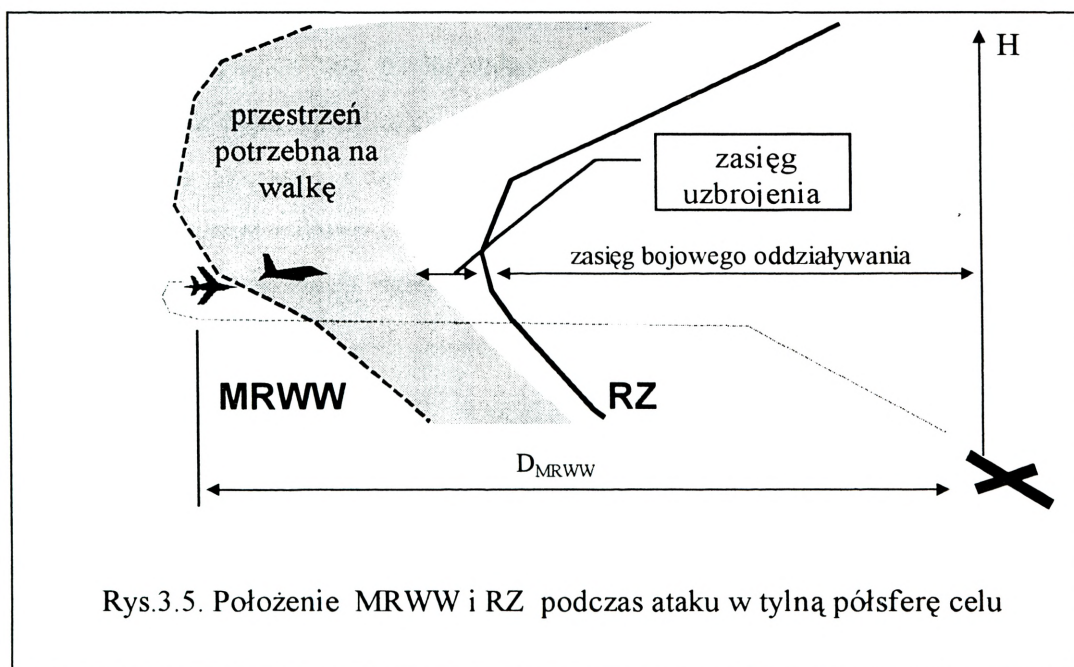
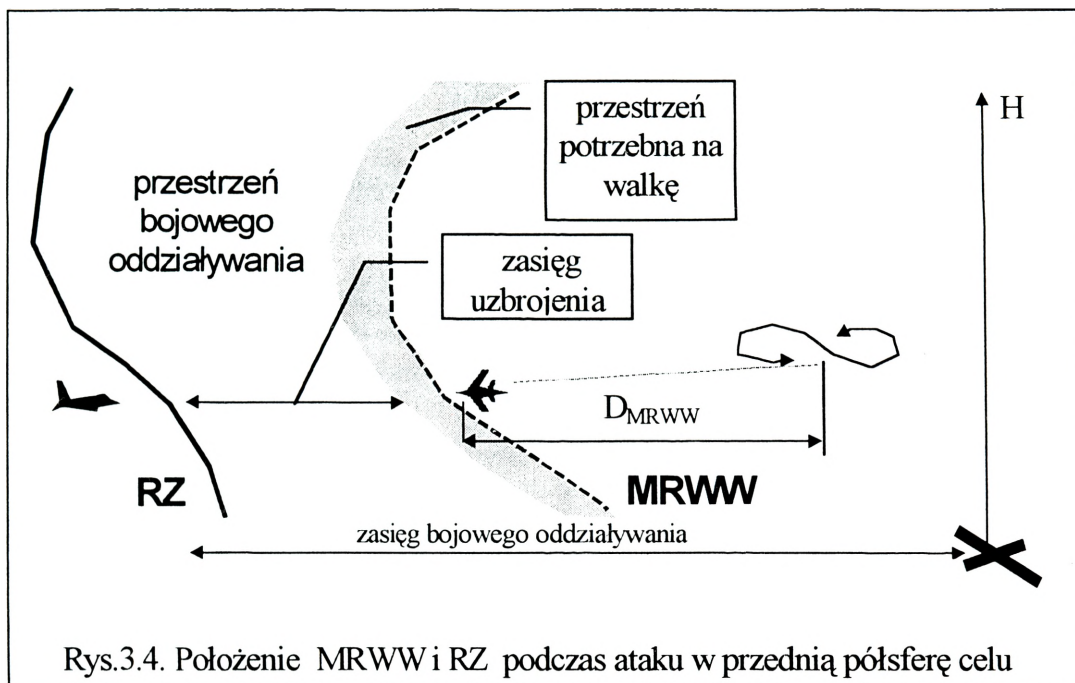
¹⁷ Z punktu widzenia decydentów, podczas oceny ostatecznych rezultatów walk posługiwanie się rubieżami niszczenia ŚNP wydaje się wygodniejsze (zwłaszcza podczas decyzji dotyczących podziału celów powietrznych do zwalczania przez LM i środki rakietowe).



Rubieże zniszczenia ŚNP (RZ) wskazują, gdzie należy oczekiwać ostatecznych efektów walki. Możliwe rubieże zniszczenia celu powietrznego wygodnie jest określać względem MRWW, a ich odległości od lotnisk LM są **zasięgami bojowego oddziaływania LM**. Można je wyznaczyć znając położenie MRWW, przestrzeń potrzebną na walkę, sposób i warunki ataku, a także zasięg środków rażenia. Wzajemne relacje między omawianymi wielkościami podczas ataku samolotów myśliwskich w przednią półsferę ŚNP ilustruje rys. 3.4., a podczas ataku w tylną półsferę ŚNP rys. 3.5.

Należy podkreślić, że przestrzeń bojowego oddziaływania w wypadku wykorzystywania przez LM uzbrojenia raketowego dalekiego zasięgu, odpalanego podczas ataków w przednią półsferę ŚNP, znacznie wzrasta. W granicznym przypadku zasięg bojowego oddziaływania LM może być równy promieniowi taktycznemu powiększonemu o zasięg uzbrojenia. W wypadku samolotów myśliwskich najnowszych generacji, przystosowanych do tankowania w powietrzu, dysponujących raketami dalekiego zasięgu do niszczenia ŚNP (np. F-14 o zasięgu uzbrojenia około 160 km - AIM-54 *Phoenix* z AWG-9), maksymalny zasięg bojowego wykorzystania może przekraczać nawet tysiąc kilometrów. Warunkiem praktycznego

wykorzystania tych możliwości jest wczesne wykrycie ŚNP przez system rozpoznania sił powietrznych lub pokładowe systemy rozpoznania.



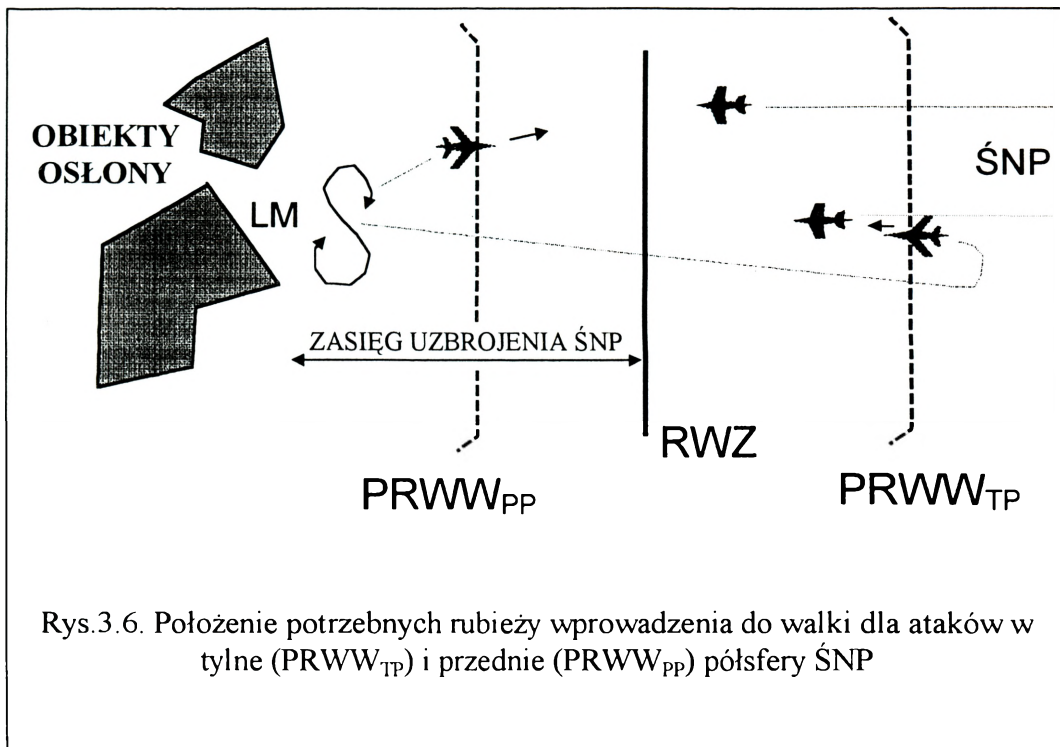
Oceniając możliwości wykonania uderzeń przez ŚNP na bronione obiekty określa się zwykle rubieżę wykonania przez nie zadań (RWZ). Są to linie wysunięte o zasięgi środków rażenia, jakimi dysponują ŚNP, przed granice tych obiektów. Aby wykonać zadania osłony obiektów zniszczenie ŚNP powinno nastąpić tuż przed osiągnięciem przez nie rubieżę wykonania zadań. Dla określenia gdzie powinno się wprowadzać LM do walki, aby zapewnić osłonę obiektów, oblicza się odległości potrzebnych rubieżę wprowadzenia do walki (D_{PRWW}).

Potrzebna rubieżę wprowadzenia do walki (PRWW) to linia będąca zbiorem punktów przestrzeni powietrznej, na której można najpóźniej wprowadzić samoloty myśliwskie do walki i zapewnić zniszczenie celu powietrznego przed wykonaniem przez niego zadania uderzenia na osłaniany obiekt (grupę obiektów). Jej położenie określa się z zasady na szczeblu operacyjno - taktycznym dla grupy obiektów w danym rejonie obrony lub w stosunku do określonego kierunku powietrznego. Nosi ona wtedy nazwę rubieżę nakazanej (NRWW).

Odległość PRWW (D_{PRWW}) obliczana jest zwykle w odniesieniu do granic obiektów osłony. Jej wartość zależy przede wszystkim od zasięgu środków rażenia jakimi dysponują ŚNP, od warunków ich dolotu do obiektów uderzeń, sposobu i warunków ataku ze strony samolotów myśliwskich, a także od możliwości przestrzennych systemów uzbrojenia, jakimi dysponują myśliwce. W kalkulacjach uwzględnia się zwykle błędy, jakie mogą wystąpić w procesie naprowadzania LM na cele powietrzne (lub podczas samodzielnej budowy manewrów wejścia do walki przez załogi samolotów myśliwskich). Obliczeń dokonuje się w oparciu o zależności analityczne. Podczas określania D_{PRWW} wykorzystuje się również programy komputerowe¹⁸.

Biorąc pod uwagę potrzeby zniszczenia przeciwnika powietrznego na określonej rubieżę (RWZ) wysuniętej przed osłaniane obiekty osłony, położenie potrzebnej rubieżę wprowadzenia do walki podczas ataków w przednie półsfery ŚNP będzie inne, niż dla ataków w tylne półsfery ŚNP. Ilustruje to rysunek 3.6.

¹⁸ Na przykład program „PRWW” opracowany przez autorów P. Makowski A. Grzelka.



Rubież wykrycia celu powietrznego - jest to linia będąca zbiorem możliwych położenia celu powietrznego w momencie jego wykrycia przez środki radiolokacyjne lub inne środki rozpoznania np. radioelektronicznego. Na tej rubieży określa się charakterystykę i warunki lotu celu w np.: w postaci: numeru celu, składu ugrupowania i typów samolotów, a także czy cel stosuje zakłócenia radioelektroniczne, względnie manewry.

Rubież podania komendy startu dla samolotu myśliwskiego - jest to linia będąca zbiorem możliwych położenia celu powietrznego w momencie rozpoczęcia wydania komendy startu myśliwcowi, który ma przechwycić dany cel.

Rubież startu - jest to linia będąca zbiorem możliwych położenia celu powietrznego w momencie rozpoczęcia startu samolotu myśliwskiego na przechwycenie. Rubież tą określamy wtedy, kiedy odległość rubieży wykrycia celu jest na tyle duża, że dla wykonania zadania osłony samoloty myśliwskie nie muszą startować natychmiast lecz dopiero w momencie gdy cel znajdzie się na rubieży startu. Jeżeli odległość rubieży wykrycia jest mniejsza, aniżeli potrzebna odległość

rubieży startu, samoloty myśliwskie powinny startować po wykryciu celu możliwie jak najwcześniej.

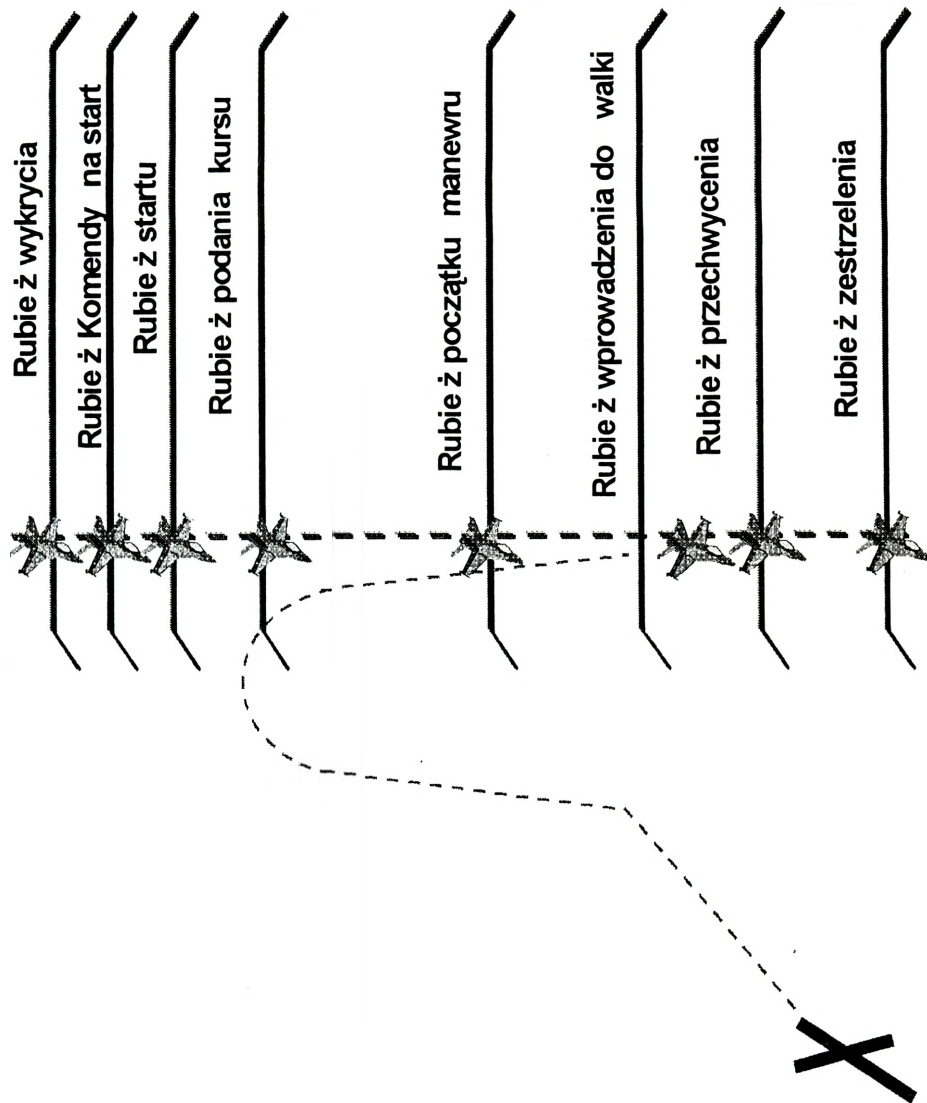
Rubież podania kursu pilotowi - jest to linia będąca zbiorem możliwych położzeń celu powietrznego w momencie podania myśliwcowi warunków lotu dla przechwycenia celu. Rubież tą oblicza się przede wszystkim podczas przechwytywania celów powietrznych z dyżurowania w powietrzu.

Rubież początku manewru samolotu myśliwskiego – jest to linia będąca zbiorem możliwych położzeń celu powietrznego w momencie rozpoczęcia przez samolot myśliwski manewru dla wyjścia w tylną półsferę tego celu. W wypadkach, gdy uzbrojenie myśliwca umożliwia zaatakowanie celu z dowolnej jego półsfery i pod dowolną sylwetką, rubież początku manewru może nie mieć praktycznego znaczenia.

Rubież przechwycenia celu powietrznego - jest to linia będąca zbiorem możliwych położzeń celu powietrznego w momencie jego przechwycenia, to jest w momencie odpalenia przez myśliwca rakiet lub rozpoczęcia strzelania z działek. Niekiedy w literaturze przedmiotu uważa się, że moment przechwycenia to chwila kiedy pokładowa stacja radiolokacyjna samolotu myśliwskiego przechodzi w reżym pracy „przechwycenie”.

Rubież wyprowadzenia z walki to linia, na której myśliwiec powinien rozpocząć manewr wyprowadzenia z walki. Wyznacza się je zazwyczaj dla zapewnienia bezpieczeństwa własnym myśliwcom tak, aby nie dopuścić do wejścia ich w obszary przestrzeni powietrznej zakazane, np. takie, w których swobodę działań mają inne aktywne środki walki.

Wzajemne położenie rubieży taktyczno-nawigacyjnych przedstawia rysunek 3.7.



Rys. 3.7. Położenie rubieży taktyczno-nawigacyjnych

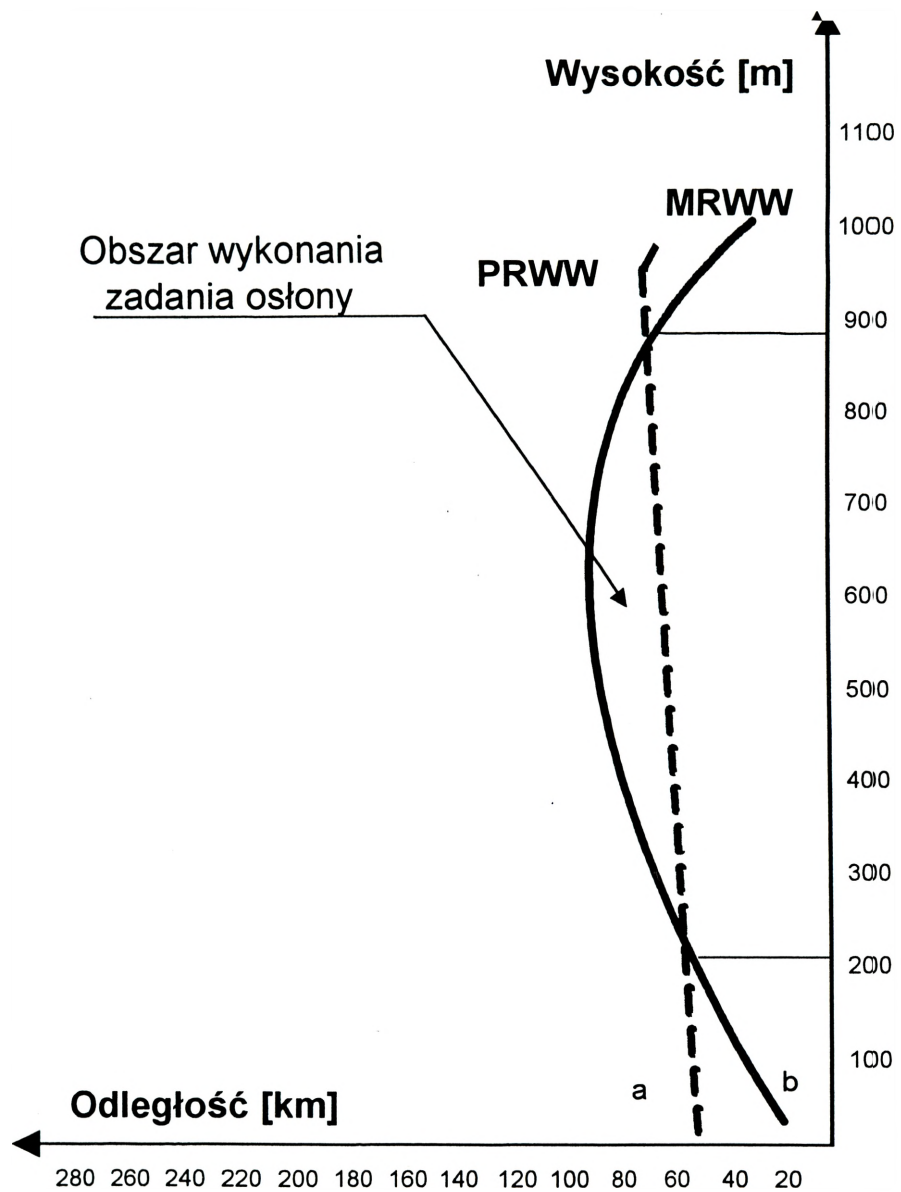
3.2 Kryterium nawigatorskie wykonania zadań osłony

Podczas realizacji zadań osłony kierunków i grup obiektów bardzo często podaje się w zadaniu dla LM nakazane (potrzebne) rubieże wprowadzenia do walki. Porównania **położeń PRWW i MRWW**, określonych dla danych wariantów nalotu ŚNP i sposobów działań LM, pozwalają określić, czy zadania osłony obiektów są możliwe do wykonania w danym ugrupowaniu i przyjętych sposobach działań. Jeżeli MRWW leżą przed PRWW na kierunku spodziewanego nalotu to przestrzenne kryterium możliwości realizacji zadań osłony (zwane również kryterium nawigatorskim wykonania zadań osłony) przez LM jest spełnione. Należy podkreślić, że określanie przestrzennego kryterium możliwości wykonania zadań osłony jest szczególnie ważne w wypadkach, jeśli system OP nie dysponuje powietrznymi systemami wczesnego wykrywania i naprowadzania lotnictwa.

Wzajemne położenie PRWW i MRWW najlepiej konfrontować po naniesieniu ich na mapę. Jeśli dysponujemy wartościami odległości tych rubieży liczonymi względem różnych punktów odniesienia, to do wyciągania wniosków co do możliwości wykonania zadań osłony, koniecznym jest sprowadzenie tych wartości do jednego wspólnego punktu odniesienia.

Rysunek 3.8. przedstawia przykład wzajemnego położenia omawianych rubieży rozpatrywanych w płaszczyźnie pionowej. Z przykładowej sytuacji przedstawionej na rysunku 3.8. wynika, że cele powietrzne lecące w zakresie wysokości od 2000m do 9000m mogą być przechwytywane przez samoloty myśliwskie przed PRWW i tym samym zadanie osłony obiektów w odniesieniu do tych celów powietrznych jest możliwe do wykonania. Spełnione jest nawigatorskie kryterium realizacji zadań osłony. Dla wysokości lotu ŚNP z poza tego zakresu LM nie ma możliwości wykonania zadania osłony.

Innym kryterium możliwości wykonania zadań osłony, wygodnym w praktycznych analizach, jest określenie minimalnych wysokości lotu ŚNP, które zapewniają możliwość wprowadzania LM do walki na nakazanych (potrzebnych) rubieżach (NRWW, PRWW) w danej sytuacji operacyjno-taktycznej.

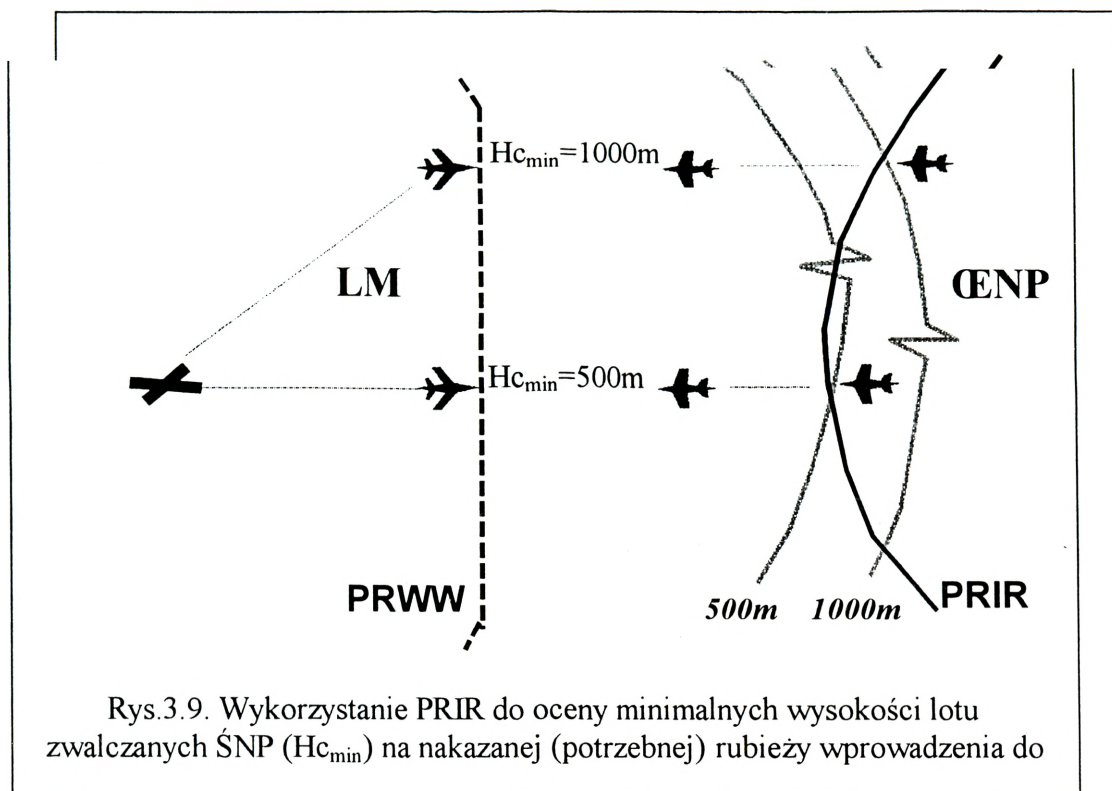


Rys. 3.8. Przykład wzajemnego położenia MRWW i PRWW w płaszczyźnie pionowej

Wartość tego wskaźnika można określić dla każdego punktu PRWW, porównując rzeczywiste możliwości wykrywania ŚNP przez system rozpoznania z potrzebami LM. Potrzeby LM w tym zakresie określa się położeniem tzw. potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej (PRIR). Na kierunku spodziewanego nalotu potrzeby informacyjne LM mogą być zaspokojone tylko tam, gdzie PRIR przebiega wewnątrz stref wykrywania systemu rozpoznania. Oznacza to, że ŚNP wykryte w tym obszarze mogą być przechwycone na PRWW. Ponieważ strefy wykrywania środków radiolokacyjnych określa się dla konkretnych wysokości nalotu, korzystając z warunku równości „potrzeb i możliwości” ich zaspokojenia, można ustalić minimalne wysokości lotu ŚNP ($H_{C\min}$), które zapewniają możliwość wprowadzenia LM do walki na PRWW. Ideę postępowania w celu określenia $H_{C\min}$ przedstawia rys. 3.9.

Położenie PRIR określa się przy pomocy zależności algebraicznych, wyprowadzanych w oparciu o te same warunki matematyczne jak w wypadku MRWW, z tą jednak różnicą, że wielkością poszukiwaną jest tu odległość wykrycia ŚNP (PRIR), a daną wejściową położenie rubieży wprowadzenia do walki. Do określania położenia PRIR pomocne mogą być także programy komputerowe.¹⁹ Podstawowe informacje o programie komputerowym „PRIR” zawiera załącznik 6.

¹⁹ Na przykład program „PRIR” opracowany przez autorów P. Makowski A. Grzelka



3.3. Określanie położenia potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki

Niekiedy w czasie stawiania zadania dla LM przełożony nie podaje nakazanych rubieży wprowadzenia do walki (NRWW) lecz jedynie obiekt, który należy osłonić. Wówczas należy obliczyć położenie PRWW względem osłanianego obiektu (D_{PRWWO}) z uwzględnieniem półsfery celu powietrznego, w jaką myśliwiec będzie wprowadzony do ataku.

3.3.1. Wyznaczanie położenia PRWW podczas ataku w tylną półsferę celu

W przypadku konieczności wprowadzania myśliwca do walki w tylną półsferę celu powietrznego, D_{PRWWO} obliczamy według zależności:

$$D_{PRWWO} = \frac{a + d - d_{rk}}{m - 1} + d + V_c \circ t_{rk} + A + R_b; \quad (3.1)$$

Gdzie:

- a - liniowy błąd w odległości występujący podczas naprowadzania myśliwca na cel powietrzny przez punkt naprowadzania, błąd ten wynosi od 3-6 km;

- d - nakazana lub pożądana odległość wyprowadzania myśliwca za cel powietrzny do rozpoczęcia ataku. Odległość ta w zależności od sytuacji taktyczno-nawigacyjnej może wynieść od 3÷10km;
- d_{rk} - odległość użycia środków rażenia przez samolot myśliwski (np. odległość odpalenia rakiet lub odległość otwarcia ognia z broni pokładowej). Odległość ta w zależności od rodzaju rakiet klasy p-p i wysokości ataku może wynosić od 0,5 do 10 km i więcej;
- m - jest to stosunek prędkości myśliwca do prędkości celu powietrznego $\frac{V_m}{V_c}$;
- V_c - prędkość celu powietrznego;
- t_{rk} - czas lotu odpalanej rakiety z myśliwca, czas ten zależy od odległości odpalenia d_{rk} i prędkości zbliżenia rakiety;
- A - odległość, z jakiej cel powietrzny może razić środkami bojowymi obiekt osłony. Jest to w zasadzie donośność bomb lub rakiet. Dla rakiet należy traktować jako odległość ich odpalenia;
- R - jest to promień rażenia względnie minimalna odległość od miejsca wybuchu środka rażenia, zabezpieczająca osłaniany obiekt przed zniszczeniem odłamkami lub siłą podmuchu np. broni jądrowej.

W uzasadnieniu zależności (3.1.) wystarczy zauważyć, że D_{PRWVO} jest sumą następujących odległości:

$$D_{PRWVO} = d + S_{zbl.c} + S_{rk.c} + A + R_b; \quad (3.2.)$$

gdzie:

$S_{zbl.c}$ - droga celu powietrznego, jaką przebędzie za czas zbliżenia się myśliwca z odległości „d” do momentu otwarcia ognia (odpalenia rakiety);

$S_{rk.c}$ - droga jaką przebędzie cel od chwili odpalenia rakiety (otwarcia ognia) przez samolot myśliwski do momentu osiągnięcia celu przez raketę.

Ponieważ

$$S_{zbl.c} = V_c \cdot t_{zbl.} \quad \text{oraz} \quad S_{rk.c} = V_c \cdot t_{rk.} \quad (3.3)$$

gdzie:

$t_{zbl.}$ – czas zbliżania się myśliwca do celu;

$t_{rk.}$ – czas lotu rakiety;

V_c – prędkość celu.

Wobec tego droga jaką przebędzie cel podczas trwania zbliżenia wyniesie:

$$V_c \cdot t_{zbl.} = \frac{a+d-d_{rk.}}{V_m - V_c} \cdot V_c = \frac{a+d-d_{rk.}}{\frac{V_m}{V_c} - \frac{V_c}{V_c}} = \frac{a+d+d_{rk.}}{m-1} \quad (3.4.)$$

gdzie: $m = \frac{V_m}{V_c}$ - stosunek prędkości myśliwca do prędkości celu

Jeżeli podstawiamy do zależności 3.2. za wyrażenie: $V_c \cdot t_{zbl.}$ jako równoważne wyrażenie: $\frac{a+d-d_{rk.}}{m-1}$ (droga celu za czas zbliżania myśliwca) to otrzymamy postać zależności 3.1. (co należało wykazać).

Mając obliczoną odległość potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki myśliwców liczoną od obiektu (D_{PRWWo}), możemy określić, jaka jest potrzebna, w celu zapewnienia osłony obiektu, odległość wprowadzenia myśliwców do walki względem lotniska startu myśliwców (D_{PRWWl}) lub strefy dyżurowania (D_{PRWWs}). Odległości te oblicza się według zależności:

$$D_{PRWWl} = D_{PRWWo} \pm D_l \quad (3.5.)$$

oraz

$$D_{PRWWs} = D_{PRWWo} \pm D_s \quad (3.6.)$$

gdzie:

D_l – odległość zmierzona od obiektu osłony do lotniska startu myśliwców (znak „plus” dotyczy sytuacji gdy lotnisko położone jest za osłanianym obiektem względem kierunku nalotu, minus gdy znajduje się ono bliżej obszarów skąd spodziewany jest nalot);

D_s - odległość zmierzona od obiektu do środka strefy dyżurowania myśliwców (znak „plus” dotyczy sytuacji gdy lotnisko położone jest za osłanianym obiektem względem kierunku nalotu, „minus” gdy znajduje się ono bliżej obszarów skąd spodziewany jest nalot);

Znając $D_{PRWWl, s}$ łatwo jest określić czas, po którym myśliwce znajdą się na tej rubieży od momentu wystartowania, względnie podania im komendy na start lub

komendy przyjęcia warunków lotu np. ze strefy dyżurowania, aby przechwycić cel powietrzny. Czas ten oblicza się na podstawie zależności:

$$t_{zbl.m} = \frac{D_{PRWW}(l,s)}{V_{m.sr.}} ; \quad (3.7.)$$

gdzie: $V_{m.sr.}$ - średnia prędkość myśliwca podczas lotu na przechwycenie.

Znajomość tego czasu jest potrzebna do określenia możliwości potęgowania działań przez samoloty myśliwskie znajdujące się w gotowości na lotnisku lub strefie.

Przykład 3.1

Obliczyć D_{PRWW_0} jeżeli uwzględniamy następujące dane:

- 1) $V_c = 600 \text{ km/h}$, $V_m = 720 \text{ km/h}$, $a = 5 \text{ km}$, $d = 5 \text{ km}$, $d_{rk.} = 3 \text{ km}$,
 $t_{rk.} = 8 \text{ s}$, $A = 2 \text{ km}$, $R_b = 0$.
- 2) $V_c = 600 \text{ km/h}$, $V_m = 900 \text{ km/h}$, $a = 5 \text{ km}$, $t_{rk.} = 8 \text{ s}$, $A = 2 \text{ km}$,
 $R_b = 0$

Rozwiązanie:

Dla przypadku (1), korzystając z zależności 3.1. otrzymujemy:

$$D_{PRWW_0} = \frac{a + d - d_{rk.}}{m - 1} + d + V_c * t_{rk.} + A + R_b = \frac{5 \text{ km} + 5 \text{ km} - 3 \text{ km}}{\frac{720 \text{ km/h}}{600 \text{ km/h}} - 1} + 5 \text{ km} + 167 \text{ m/s} * 8 \text{ s} + 2 \text{ km} = 43,4 \text{ km}$$

Dla przypadku (2) korzystając analogicznie z zależności 3.1. otrzymujemy:

$$D_{PRWW_0} = \frac{5 \text{ km} + 5 \text{ km} - 3 \text{ km}}{\frac{900 \text{ km/h}}{600 \text{ km/h}} - 1} + 5 \text{ km} + 167 \text{ m/s} * 8 \text{ s} + 2 \text{ km} + 0 = 22,4 \text{ km}$$

3.3.2. Wpływ zmiany prędkości lotu samolotu myśliwskiego po wprowadzeniu w tylną półsferę celu powietrznego na położenie PRWW.

Zachodzą przypadki, kiedy samolot myśliwski w czasie przechwytywania wyjdzie w tylną półsferę celu powietrznego ze znacznym błędem w odległości. Dla skrócenia czasu wyprowadzenia w punkt ataku, myśliwiec musi zwiększyć prędkość lotu o wartość większą niż ta, która zapewnia potrzebną dynamikę ataku. Atak z zasady przeprowadzany jest przy prędkości lotu myśliwca o 150-300 km/h większej od prędkości celu. Zwiększenie prędkości w stosunku do tej, przy której nastąpi atak,

pociąga za sobą konieczność jej zmniejszenia przed wejściem do walki. Uwzględniając powyższe, odległość PRWW względem obiektu osłony będzie określona zależnością:

$$D_{PRWWo} = V_c(t_{zbl.} + t_{rk.}) + d + A + R_b; \quad (3.8.)$$

gdzie:

d - nakazana (pożądana) odległość między myśliwcem i celem w momencie wprowadzenia myśliwca do walki;

A - odległość wykonania zadania przez cel powietrzny (donośność środków rażenia)

R_b - promień rażenia bomby jądrowej lub innego środka rażenia.

Istotę określania D_{PRWWo} ilustruje rysunek 3.10, z którego wynika, że czas zbliżenia myśliwca można obliczać na podstawie zależności:

$$t_{zbl.} = t_{rp.} + t_{dop.} + t_{hm.} \quad (3.9.)$$

gdzie:

$t_{rp.}$ – czas rozpędzania prędkości;

$t_{dop.}$ – czas dopędzania z prędkością max;

$t_{hm.}$ – czas hamowania.

Nieznaną wielkość czasu dopędzania możemy określić w oparciu o zależność:

$$V_m \circ t_{dop.} = s + d + V_c \circ t_{zbl.} - V_m \circ t_{rp.} - V_m \circ t_{hm.} - d_{rk.} \quad (3.10)$$

gdzie:

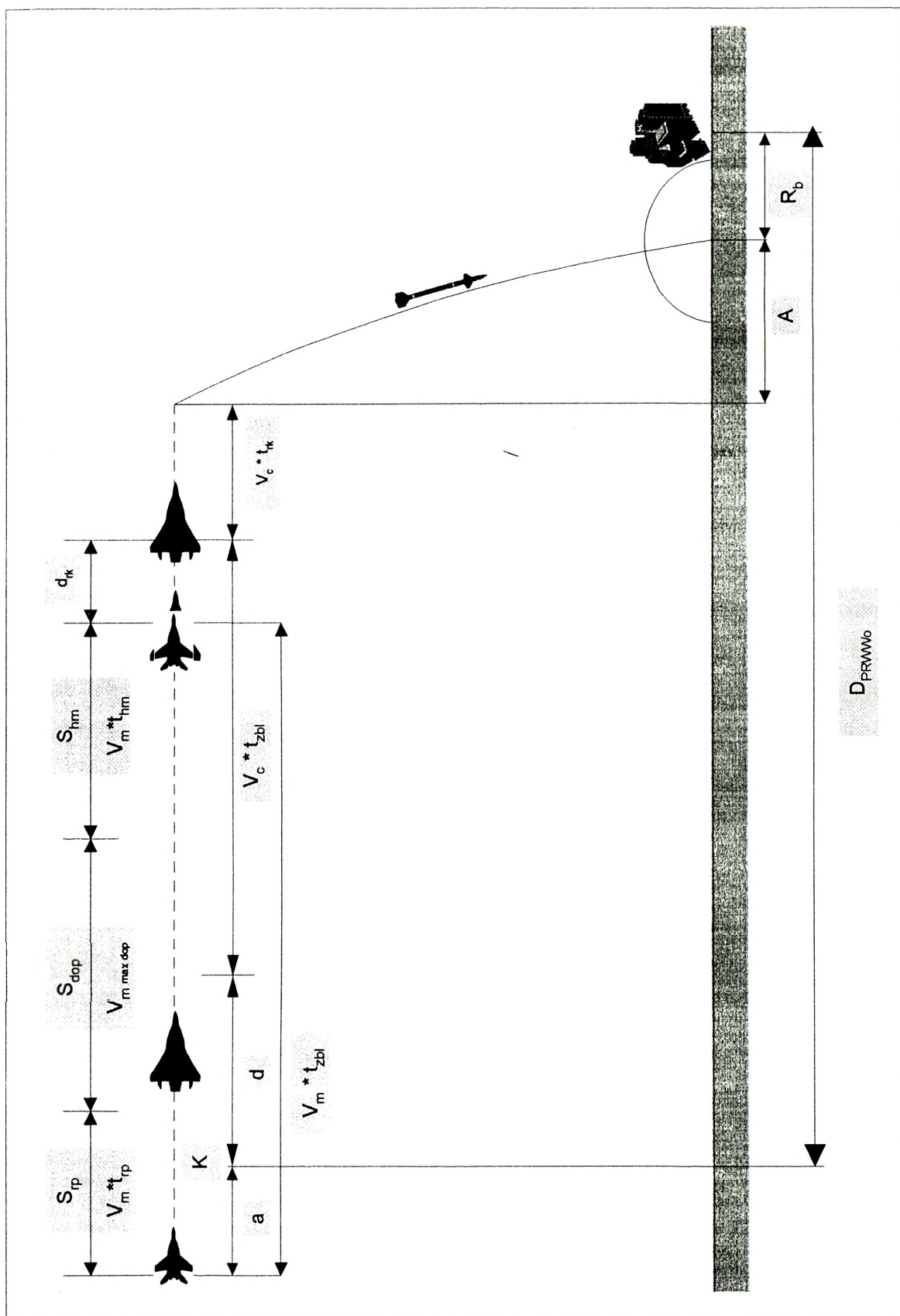
$S_{rp.} = V_m * t_{rp.}$ – droga rozpędzania;

$S_{hm.} = V_m * t_{hm.}$ – droga hamowania.

Wobec tego:

$$t_{dop.} = \frac{V_{m_{max}} \circ t_{dop.}}{V_m} = \frac{a + d + V_c \circ t_{zbl.} - S_{rp.} - S_{hm.} - d_{rk.}}{V_m} + t_{rp.} + t_{hm.}; \quad (3.11)$$

Po podstawieniu wartości $t_{dop.}$ obliczonej według zależności 3.11 do wzoru 3.9. otrzymamy:



Rys. 3.10. Ilustracja zależności określającej D_{PRWW} podczas ataków w tylną półsferę celu

$$t_{zbl.} = \frac{a + d + V_c \circ t_{zbl.} - S_{rp.} - S_{hm.} - d_{rk.}}{V_m} + t_{rp.} + t_{hm.}; \quad (3.12)$$

Po trywialnych przekształceniach zależności 3.12 otrzymujemy:

$$t_{zbl.} (V_m - V_c) = a + d - S_{rp.} - S_{hm.} - d_{rk.} + V_m (t_{rp.} + t_{hm.}); \quad (3.13)$$

Uwzględniając zależności 3.8 i 3.13 możemy określić D_{PRWWo} korzystając z zależności:

$$D_{PRWWo} = a + d - S_{rp.} - S_{hm.} - d_{rk.} + V_m (t_{rp.} + t_{hm.}) + d + A + R_b; \quad (3.14)$$

3.3.3. Wyznaczanie położenia PRWW podczas ataku w przednią półsfere celu powietrznego

Aktualnie większość współczesnych samolotów myśliwskich, ze względu na posiadane uzbrojenie, ma możliwości atakowania celów powietrznych nie tylko w tylną ale i również w przednią półsferę. Atakowanie celu powietrznego na kursach przeciwnie przecinających się odbywa się z dużą prędkością zbliżania się celu i myśliwca. Duża prędkość zbliżania sprawia, że odległość wprowadzenia do walki myśliwca w przednią półsferę celu powietrznego jest znacznie większa od odległości wprowadzenia do walki myśliwca w tylną półsferę celu powietrznego. W zależności od typu rakiet odległość ta jest rzędu od 20km do 100 i więcej.

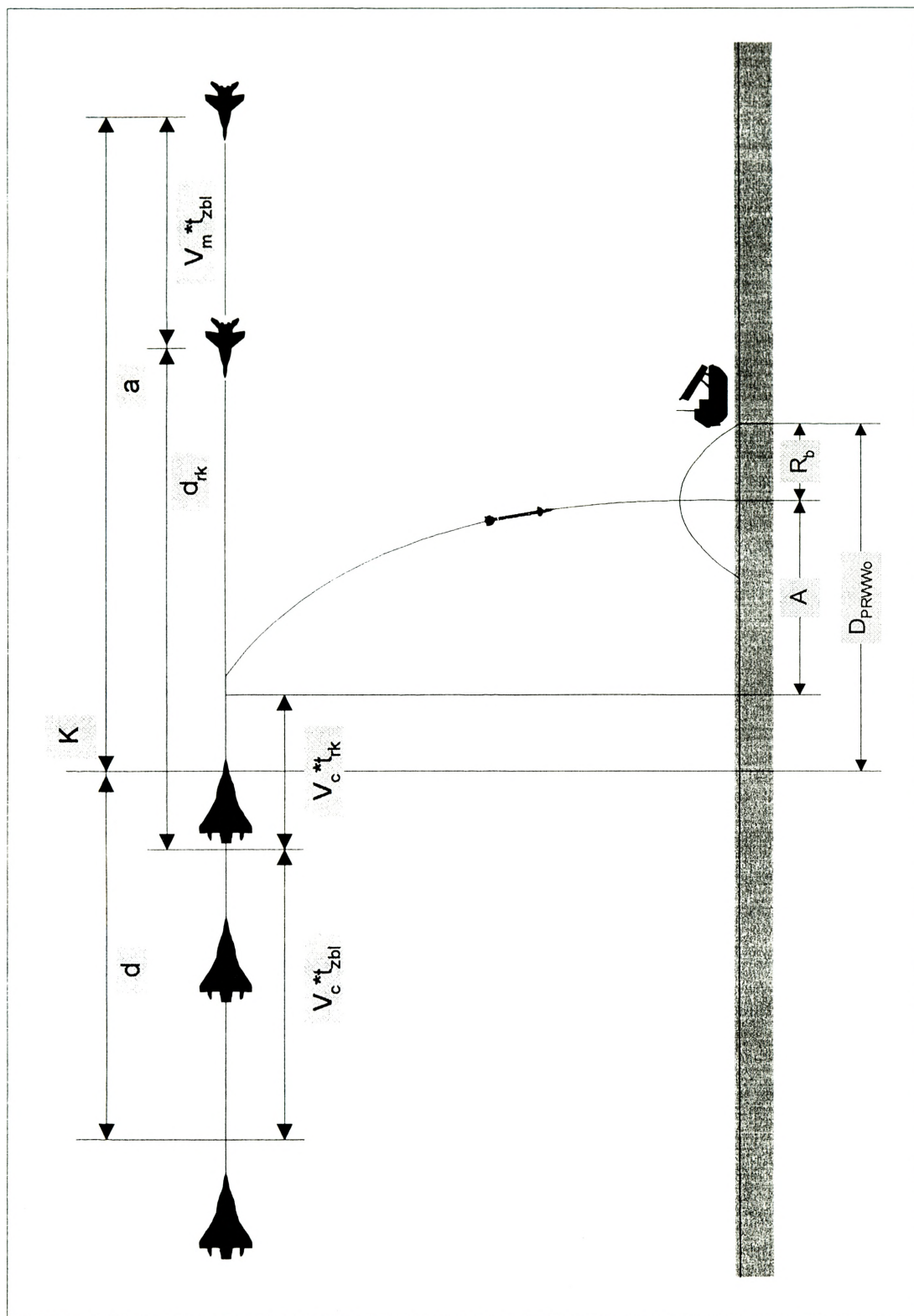
Aby zapewnić dogodne warunki przechwycenia celu powietrznego przez samolot myśliwski i zaatakowanie go na kursach przeciwnie przecinających się stosunek prędkości myśliwca do prędkości celu powietrznego nie musi być większy od jedności jak w wypadku atakowania celów na kursach zgodnie przecinających się.

A zatem samoloty myśliwskie, które posiadają uzbrojenie pozwalające na atak w przednią półsferę celu, powinny zostać wprowadzone do walki na odległość, którą można wyrazić przy pomocy zależności:

$$D_{PRWWo} = V_c (t_{zbl.} + t_{rk.}) - d + A + R_b; \quad (3.15)$$

Omawianą sytuację ilustruje rysunek 3.11.

Łatwo zauważyć na podstawie rysunku 3.11., że:



Rys. 3.11. Ilustracja zależności określającej D_{PRWW} podczas ataków w przednią półsferę celu

$$V_c \circ t_{zbl.} = V_c \frac{a+d-d_{rk.}}{V_m+V_c} = \frac{a+d-d_{rk.}}{\frac{V_m}{V_c} + \frac{V_c}{V_c}} = \frac{a+d-d_{rk.}}{m+1}; \quad (3.16.)$$

Uwzględniając zależność 3.16 i 3.15. otrzymamy ostateczną postać zależności pozwalającej określać interesującą nas odległość potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki myśliwca atakującego cel w przednią półsferę:

$$D_{PRWWo} = \frac{a+d-d_{rk.}}{m+1} - d + V_c t_{rk.} + A + R_b; \quad (3.17.)$$

Przykład 3.2.

Obliczyć odległość potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki myśliwca w przednią półsferę celu powietrznego mając następujące dane:

$V_c = 900 \text{ km/h}$, $H_c = 3000 \text{ m}$, $V_m = 900 \text{ km/h}$, $a = 5 \text{ km}$, $d = 20 \text{ km}$, $d_{rk.} = 10 \text{ km}$, $t_{rk} = 8 \text{ s}$, $A = 2 \text{ km}$, $R_b = 0$

Rozwiązanie:

$$D_{PRWWo} = \frac{a+d-d_{rk.}}{m+1} - d + V_c t_{rk} + A = \frac{5\text{km} + 20\text{km} - 10\text{km}}{\frac{900\text{km/h}}{900\text{km/h}} + 1} - 20\text{km} + 250\text{m/s} * 8\text{s} + 2\text{km} + 0 = -8,5\text{km}$$

Wniosek:

Odległość potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki myśliwca w przednią półsferę celu wynosi (minus) -8,5km, czyli należy go wprowadzać do walki na rubieży położonej nie dalej niż 8,5km za osłanianym obiektem w stosunku do kierunku spodziewanego nalotu.

3.3.4. Położenie PRWW w wariacie współdziałania lotnictwa myśliwskiego z naziemnymi aktywnymi środkami walki OP

Zależności 3.1., 3.14. i 3.17. są słuszne, kiedy samoloty myśliwskie działają w jednej wspólnej strefie z naziemnymi środkami rakietowymi OP lub działają samodzielnie. Natomiast, kiedy te działania prowadzone są w różnych oddzielnych strefach dla lotnictwa i naziemnych zestawów rakietowych klasy z-p, samoloty myśliwskie powinny zakończyć atakowanie celów powietrznych i zostać wyprowadzone z walki jeszcze przed dalszą granicą strefy ognia tych zestawów, aby zachować bezpieczeństwo myśliwców przed przypadkowym ich zestrzeleniem.

Odległość rubieży wyprowadzenia względem dalszej granicy ognia zestawów rakietowych oblicza się według wzoru:

$$D_{\text{wyp.}} = V_m (t_{\text{kom}} + t_{\text{op.}}) + R; \quad (3.18.)$$

Gdzie:

$D_{\text{wyp.}}$ - odległość wyprowadzenia myśliwca z walki;

t_{kom} - czas przekazania komendy na wyjście myśliwca z walki;

t_{op} - czas opóźnienia w wykonaniu komendy przez pilota;

R - promień zakrętu myśliwca.

Podstawiając w zależności 3.1 w miejsce wielkości takich jak donośność środków rażenia (A) i promień rażenia (R) wielkość dalszej granicy strefy ognia (D_{do}) liczonej od obiektu osłony, powiększonej o odległość $D_{\text{wyp.}}$, otrzymamy następującą postać zależności pozwalającej na obliczenie odległości potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki (D_{PRWW}) myśliwców działających w oddzielnych strefach (podczas atakowania celu powietrznego w tylną półsferę bez zmiany prędkości lotu myśliwca):

$$D_{\text{PRWW}_0} = V_c \left[\frac{a + d - d_{rk.} - s_{rp.} - s_{hm.} + V_m (t_{rp.} + t_{hm.})}{V_m - V_c} + t_{rk.} \right] + d + D_{\text{wyp.}} + D_{\text{do}}; \quad (3.19.)$$

Natomiast przy zakładaniu atakowania celu powietrznego w tylną półsferę z uwzględnieniem konieczności zmiany prędkości lotu myśliwca po jego wejściu do walki, do określania D_{PRWW_0} pomocną może być zależność:

$$D_{\text{PRWW}_0} = V_c \left[\frac{a + d - d_{rk.} - S_{rp.} - S_{hm.} + V_m (t_{rp.} + t_{hm.})}{V_m - V_c} + t_{rk.} \right] + d + D_{\text{wyp.}} + D_{\text{do}}; \quad (3.20.)$$

Podczas atakowania celu powietrznego w przednią półsferę bez uwzględniania zmiany prędkości lotu myśliwca odległość D_{PRWW_0} może być określana przy pomocy wzoru:

$$D_{\text{PRWW}_0} = \frac{a + d - d_{rk.}}{m + 1} - d + V_c * t_{rk.} + D_{\text{wyp.}} + D_{\text{do}}; \quad (3.21.)$$

Należy jednak zaznaczyć, że atakowanie celów na kursach przeciwnie przecinających się (nawet z nad ugrupowania naziemnych środków rakietowych) z reguły nie stwarza w praktyce trudności w realizacji współdziałania i zapewnienia

bezpieczeństwa własnym samolotom myśliwskim. Stąd powyższa zależność ma raczej wartość teoretyczną.

3.3.5. Wybór racjonalnych parametrów obliczeń przy wyznaczaniu położenia PRWW

Rezultaty kalkulacji D_{PRWW_0} zależą od wartości przyjętych parametrów wyjściowych do obliczeń, a mianowicie: a , d , $d_{rk.}$, m , A . Te z kolei powinny być odzwierciedleniem obiektywnych możliwości samolotów myśliwskich i ich uzbrojenia (patrz załączniki 1÷5), wyszkolenia personelu latającego jak i nawigatorów naprowadzania, a także sprzętu zabezpieczającego (np. stacji radiolokacyjnych wykorzystywanych przez punkty naprowadzania).

Dla przykładu, maksymalny liniowy błąd naprowadzenia - „ a ” jest ściśle zależny od systemu naprowadzania oraz rodzaju manewrów, jaki wykonuje myśliwiec dla wyjścia w tylną półstrefę celu (oprócz innych przypadkowych czynników). Błąd ten powstaje na skutek:

- niedokładnego określania warunków lotu celu powietrznego;
- niedokładnego określania współrzędnych samolotu myśliwskiego i celu;
- niedokładnego wypracowania i opóźnienia przekazania na pokład samolotu myśliwskiego komend naprowadzania;
- niedokładnego wykonania komend naprowadzania przez samolot myśliwski.

Dla półautomatycznego systemu naprowadzenia, przy nakazanej odległości wyprowadzenia myśliwców w tylną półsferę celu „ d ” równej 4-8km i przy wykonaniu przez myśliwca manewru w płaszczyźnie poziomej, maksymalny błąd naprowadzania dla prawdopodobieństwa $P_n=0,99$ wynosi od 5 do 8km.

Odległość „ d ”, na którą jest wprowadzany myśliwiec względem celu powietrznego jest ściśle związana z możliwościami myśliwca w zakresie samodzielnego wyjścia do ataku. Wybrana odległość naprowadzania powinna zapewnić, nawet w wypadku zaistnienia błędów wykrycia celu, poprawienie błędu naprowadzania, zbliżenie myśliwca do celu oraz wyjście w punkt rozpoczęcia ataku. W tej sytuacji ważnym elementem jest prawidłowe określenie prędkości lotu celu powietrznego oraz dobranie na tej podstawie właściwej prędkości zbliżania myśliwca.

Prędkość zbliżania myśliwca do celu ma istotny wpływ na efektywność wykonania ataku. Wobec tego, obliczając zmianę prędkości lotu myśliwca po jego wyjściu w tylną półsferę celu należy przestrzegać zasady, że nie można zwiększać prędkości myśliwca poza określoną granicę, ponieważ może powstać taka sytuacja, kiedy myśliwiec nie będzie w stanie zmniejszyć prędkości do wymaganej lub w wypadku przechwytywania celów o dużych prędkościach możemy błędnie założyć przekroczenie ograniczeń eksploatacyjnych. W związku z powyższym przy określaniu prędkości myśliwca należy zachować poniższe warunki:

$$S_{rp.} + S_{hm} \leq a + d + V_c * t_{zbl} - d_{rk.}$$

$$V_m < V_{max}$$

gdzie:

V_{max} – prędkość maksymalna - wynikająca z ograniczeń eksploatacyjnych w danych warunkach lotu (wysokość, wariant ładunku bojowego);

$$t_{zbl.} = \frac{a + d - d_{rk.}}{V_m - V_c} - \text{czas zbliżania};$$

$S_{rp.} = V_m t_{rp.}$ – droga rozpędzania;

$S_{hm} = V_m t_{rp.}$ – droga hamowania;

Dogodną prędkością zbliżania myśliwca do celu jest prędkość o 150-300km/h większa od prędkości celu.

W dużej mierze na wartość D_{PRWW_0} ma wpływ ocena wartości odległości wykonania zadania przez cel powietrzny - „A” w czasie zwalczania obiektów naziemnych. Wartość tego parametru jest zależna od środków rażenia, jakie będą zastosowane i warunków ich użycia. W wypadku bomb ich donośność „A” będzie odległością wykonania zadania. Donośność bomb - „A” określa się z tabel balistycznych lub wg. zależności:

$$A = T \cdot V_b - \Delta; \quad (3.22.)$$

gdzie:

T – czas spadania bomby,

V_b – prędkość bombardowania;

Δ -zwłoka charakterystyczna dla danego typu bomby.

W sytuacji zastosowania rakiet „p-z”, wielkość - „A”, będzie odległością odpalenia tych rakiet. Zasięg rakiet zależęć będzie w wielu przypadkach od wysokości ich odpalenia. Należy podkreślić, że wysokości dolotu do obiektów uderzeń przez przeciwnika mogą znacznie się różnić od wysokości bojowego zastosowania uzbrojenia przeznaczonego do rażenia obiektów.

Parametr „ R_b ” uwzględniamy we wzorze wówczas, kiedy cel powietrzny stosować będzie jądrowe środki rażenia. Wówczas wartość R_b przyjmujemy jako promień skutecznego rażenia głowic jądrowych w odniesieniu do obiektów uderzeń (osłanianych przez LM).

Przykład 3.3.

Obliczyć D_{PRWW_0} dla zaatakowania celu powietrznego w tylną półsferę.

Założenie: obiektem osłony jest lotnisko startu myśliwca. Po wyjściu myśliwca w tylną półsferę celu, jego prędkość nie zmienia się. Nalot wykonywany jest przez LMB uzbrojenie w rakiety „P-Z”, gdzie : $A=5\text{km}$, $V_c = 900 \text{ km/h}$, $H_c = 2000 \text{ m}$, $V_m = 1100 \text{ km/h}$, $d = 5 \text{ km}$, $d_{rk} = 3 \text{ km}$, $a = 5 \text{ km}$, $R_b = 0,5 \text{ km}$, $V_{rk} \cong 400 \text{ km/h}$ (prędkość zbliżania rakiety)

Rozwiązanie:

Wykorzystujemy zależność: $D_{PRWW_0} = \frac{a + d - d_{rk}}{m - 1} + d + V_c \cdot t_{rk} + A + R_b$;

Obliczamy „m”:

$$m = \frac{V_m}{V_c} = \frac{1100 \text{ km/h}}{900 \text{ km/h}} = 1,22$$

Obliczamy „ t_{rk} ”

$$t_{rk} = \frac{d_{rk}}{V_{rk}} = \frac{3000 \text{ m}}{400 \text{ m/s}} = 7,5 \text{ s} - 8 \text{ s}.$$

Obliczamy $V_c \cdot t_{rk}$

$$250 \text{ m/s} \cdot 8 \text{ s} = 2000 \text{ m} = 2 \text{ km}$$

Obliczamy D_{PRWW_0} :

$$D_{PRWW_0} = \frac{5km + 5km - 3km}{1,22 - 1} + 5km + 2km + 5km + 0,5km = 44,5km$$

Odpowiedź : $D_{PRWW_0} = 44,5 km$

3.4. Określanie położenia możliwej rubieży wprowadzenia do walki

Określanie położenia MRWW jest realizowane z reguły następującymi sposobami przy wykorzystaniu:

- zautomatyzowanych systemów dowodzenia (np. BODZISZEK, CYBER);
- aparatury przyrządowego naprowadzania (np. WEKTOR -2WE);
- programów komputerowych (np. MRWW-29, MRWW-21);
- metod algebraicznych;
- metod graficznych i graficzno-algebraicznych.

Algorytmy stosowane w aparaturach przyrządowego naprowadzania, zautomatyzowanych systemach dowodzenia i programach komputerowych uwzględniają szereg dodatkowych uwarunkowań w porównaniu ze stosowanymi metodami algebraicznymi czy graficznymi i są zbyt skomplikowane, by można było wykorzystywać je poza platformą komputerową, dla której zostały opracowane. W dalszej części niniejszego materiału odniesiemy się jedynie do sposobów wymienionych jako dwa ostatnie. Pomimo, że sposoby te zostają coraz częściej wypierane przez oprogramowanie informatyczne, to opisane niżej modele matematyczne mają swoistą wartość dydaktyczną i pozwalają na szybką, choć mało dokładną analizę sytuacji taktycznej.

3.4.1. Metody określania możliwości przechwytywania celów powietrznych przez LM z dyżurowania na lotnisku

Przechwytywanie celów powietrznych przez LM z dyżurowania na lotniskach stosuje się wówczas, kiedy środki wykrywania zapewniają na tyle wczesne wykrycie ŚNP, aby istniała możliwość ich przechwycenia na nakazanej rubieży wprowadzenia do walki lub PRWW. Istota tego sposobu działań bojowych LM polega na tym, że samoloty myśliwskie dyżurują na lotnisku, a startują na sygnał, kiedy cel został

wykryty i powzięto decyzję na jego przechwycenie. Ten sposób przechwytywania charakteryzuje się wydłużonym czasem pasywnym, to jest czasem trwającym od momentu wykrycia celu do rozpoczęcia startu myśliwca.

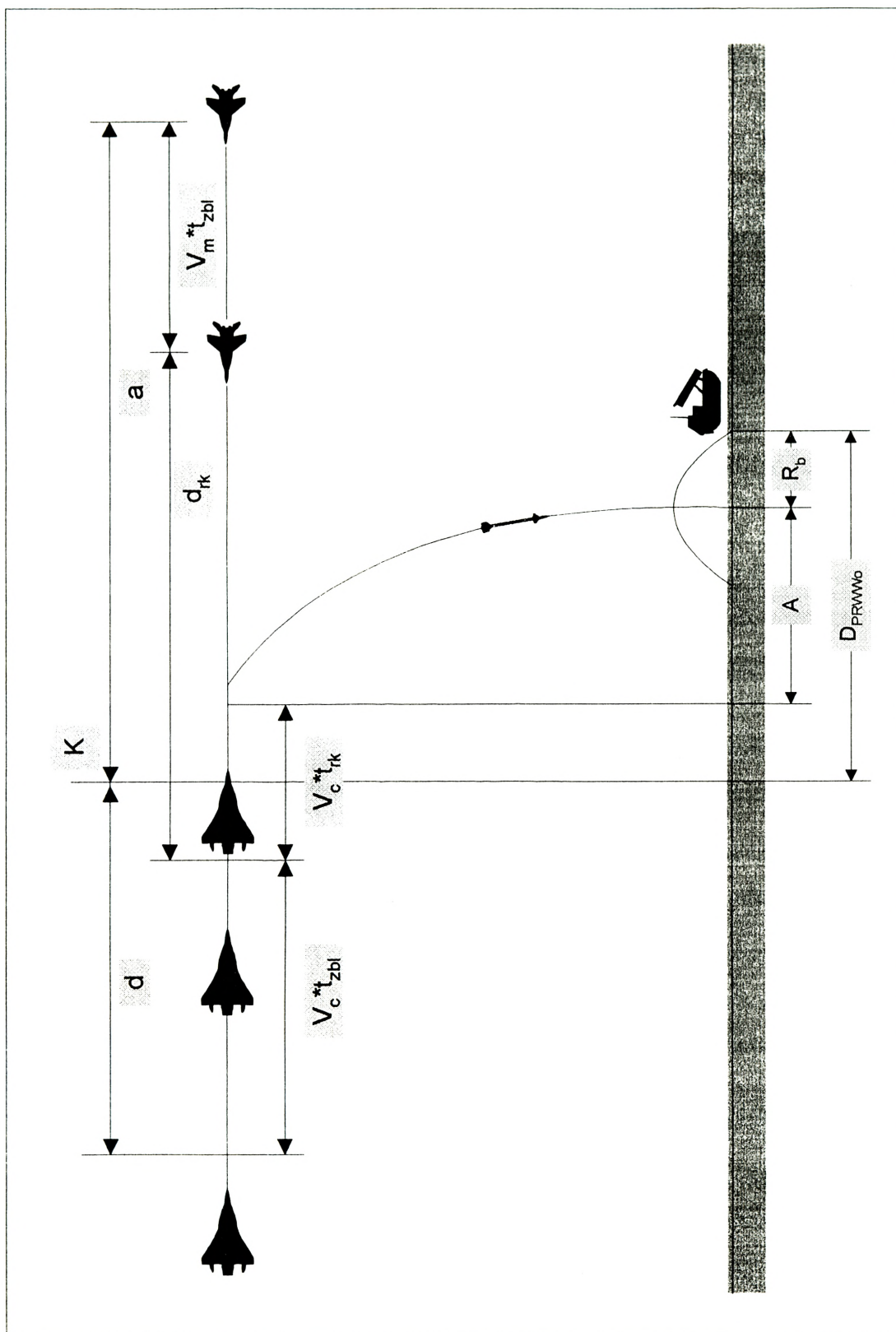
Jednym z warunków zapewniających uzyskanie lepszych możliwości przechwytywania celów powietrznych na nakazanych rubieżach przez samoloty myśliwskie z dyżurowania na lotniskach jest ich wykrycie na jak największej odległości. Temu celowi służy również skrócenie do minimum czasu pasywnego. Dla zwiększenia odległości wykrycia ŚNP wykorzystuje się powietrzne elementy systemu wczesnego wykrywania (np. samoloty E-3A), naziemne stacje radiolokacyjne o dużym zasięgu wykrywania, które rozmieszcza się jak najbliżej przeciwnika, a także wykorzystując w razie potrzeby morskie systemy wykrywania ŚNP. Natomiast przedsięwzięcia zmierzające do skrócenia czasu pasywnego polegają na wykorzystywaniu w systemie dowodzenia lotnictwem zautomatyzowanych systemów dowodzenia.

Metody algebraiczne

Aby określić położenie MRWW (obliczyć odległość MRWW od lotniska startu - D_{MRWWL}) trzeba określić składniki bilansu czasu celu i samolotu myśliwskiego potrzebne do osiągnięcia takiego położenia w przestrzeni obu przeciwstawnych stron, które zapewnia wejście do walki myśliwca w możliwie najkrótszym czasie. Istotę takiego bilansu przedstawia rysunek 3.12.

Załóżmy, że cel powietrzny wykonujący lot po prostej (ze stałym kursem) i niezmienną prędkością, został wykryty w punkcie „E”, a ma być on przechwycony przez samolot myśliwski dyżurujący na lotnisku w punkcie „L”. Uwzględniając wykonanie czynności niezbędnych do: przekazania informacji na SD o wykrytym celu, ocenie sytuacji i powzięcia decyzji przez dowódcę na SD o przechwyceniu, przekazania sygnału na start myśliwca, uruchomienia silników, wykołowania i startu oraz wyjścia na wyznaczony kurs; cel powietrzny przez ten czas przeleci pewną odległość i znajdzie się w punkcie „F”.

Natomiast myśliwiec po tym czasie znajdzie się w punkcie „A” (wyjściowym punkcie naprowadzania).



Rys.3.12. Schemat przechwytywania ŚNP z dyżurowania na lotnisku

Zanim samolot myśliwski osiągnie nakazaną wysokość (wysokość lotu celu), upłynie również określony czas t_{wzn} , w czasie którego cel przebędzie z punktu F do punktu G tj, drogę równą $(V_c \cdot t_{wzn})$. Od tego momentu rozpoczyna się naprowadzanie myśliwca na cel powietrzny. Rozwiązanie zadania naprowadzania polega na znalezieniu „punktu spotkania” myśliwca z celem, określeniu momentu tego spotkania oraz warunków lotu samolotu przechwytyjącego.

Załóżmy, że położenie celu względem wyjściowego punktu naprowadzania w momencie wykrycia określa odległość D_{wykr} i kąt kursowy celu (KK_c). Szukamy odległości możliwej rubieży wprowadzania myśliwców do walki (D_{MRWW}) od wyjściowego punktu naprowadzania (WPN) do punktu spotkania „C”, która określa położenie punktu spotkania na linii drogi celu.

Przyjmijmy, że odległość drogi poziomego lotu myśliwców do punktu początku manewru (PPM) równa się w przybliżeniu $D_{MMRW} - S_{wzn}$. Drogę, jaką przebędzie cel od punktu wykrycia do punktu spotkania, można obliczyć na podstawie zależności:

$$S_c = V_c (t_{pas} + t_{wzn} + t_{man}) + n (D_{mrww} - S_{wzn}) + d; \quad (3.23)$$

gdzie:

t_{pas} - czas od momentu wykrycia celu rozpoczęcia lotu na przechwycenie;

t_{wzn} – czas wznoszenia myśliwców od początku wznoszenia do wysokości, na której rozpoczną manewr dla wyjścia w tylną półsferę celu;

t_{man} – czas manewru myśliwców dla wyjścia w tylną półsferę celu;

n - stosunek prędkości celu do prędkości myśliwców ($n = \frac{V_c}{V_m}$);

S_{wzn} – rzut na płaszczyznę poziomą drogi wznoszenia myśliwców;

$n (D_{MRWW} - S_{wzn})$ - odległość, jaką przebędzie cel w czasie poziomego lotu myśliwców od punktu zakończenia wznoszenia do punktu początku manewru.

Po zrzutowaniu trasy lotu celu i myśliwców na płaszczyznę poziomą otrzymamy trójkąt przechwycenia, z którego wynika, że :

$$D_{MRWW}^2 = D_{wykr}^2 + S_c^2 - 2 D_{wykr} \cdot S_c \cdot \cos KK_m; \quad (3.24)$$

Po uwzględnieniu zależności 3.23. oraz przyjmując, że $t_{pas} + t_{wzn.} = t_{\Sigma}$, otrzymujemy następującą postać zależności:

$$D_{MRWW}^2 = D_{wykr.}^2 + [V_c \circ (t_{\Sigma} + t_{man}) + d + n \circ (D_{MRWW} - S_{wzn.})]^2 - 2D_{wykr.} \circ [V_c \circ (t_{\Sigma} + t_{man}) + n \circ (D_{MRWW} - S_{wzn.}) + d] \circ \cos KK_m \quad ; \quad (3.25)$$

Zależność 3.25. jest równaniem kwadratowym, w którym niewiadomą jest D_{MRWW} . Rozwiązanie tego równania jest zadaniem elementarnym, aczkolwiek kłopotliwym. Dlatego też zależność 3.25. ma małe znaczenie praktyczne.

W praktyce największe znaczenie ma rozwiązanie równania dla takiego przypadku, kiedy kierunek lotu celu przechodzi przez wyjściowy punkt naprowadzania (lotnisko startu myśliwców) lub w ich pobliżu, to jest kiedy $KK_m = 0$. Najlepsze możliwości przechwycenia celu (przy wszystkich innych czynnikach jednakowych) posiadają te myśliwce, których lotnisko startu leży na trasie lotu celu. Ten fakt należy uwzględnić podczas stawiania myśliwcom zadań na przechwycenie.

W wypadku, gdy wejście do walki nastąpi przed lotniskiem i przed stożkiem wznoszenia (tzn. $0 < D_{WYKR.} + d - V_c(t_{\Sigma} + t_{man}) > S_{WZN}$), a w momencie wejścia do walki samolot atakujący będzie w odległości d za celem (atak w tylną półsferę celu) D_{MRWWL} można określić wykorzystując zależność:

$$D_{MRWWL} = \frac{D_{WYKR.} + d - V_c(t_{\Sigma} + t_{man}) + nS_{wzn.}}{1 + n} \quad ; \quad (3.26.)$$

W wypadku, gdy wejście do walki w tylną półsferę celu nastąpi w stożku wznoszenia przed lotniskiem (tzn. $0 < D_{WYKR.} + d - V_c(t_{\Sigma} + t_{man}) < S_{WZN}$ i jednocześnie $D_{WYKR.} + d - V_c t_{\Sigma} > S_{WZN}$), do obliczania D_{MRWWL} korzystamy z zależności:

$$D_{MRWWL} = D_{WYKR.} + d - V_c(t_{\Sigma} + t_{man}) \quad ; \quad (3.27.)$$

Jeżeli wejście do walki będzie miało miejsce w stożku wznoszenia, ale za lotniskiem (tzn. $0 > D_{WYKR.} + d - V_c t_{\Sigma}$ i jednocześnie $|D_{WYKR.} + d - V_c t_{\Sigma}| < S_{WZN}$), wówczas obliczenia D_{MRWWL} możemy dokonać w oparciu o zależność:

$$D_{MRWWL} = D_{WYKR.} + d - V_c t_{\Sigma} \quad ; \quad (3.28)$$

Gdy przechwycenie wystąpi za lotniskiem i stożkiem wznoszenia (tzn. $0 > D_{WYKR} + d - V_c t_{\Sigma}$ i jednocześnie $D_{WYKR} + d - V_c t_{\Sigma} > S_{WZN}$) w celu określenia wartości D_{MRWWL} wykorzystywać należy zależność:

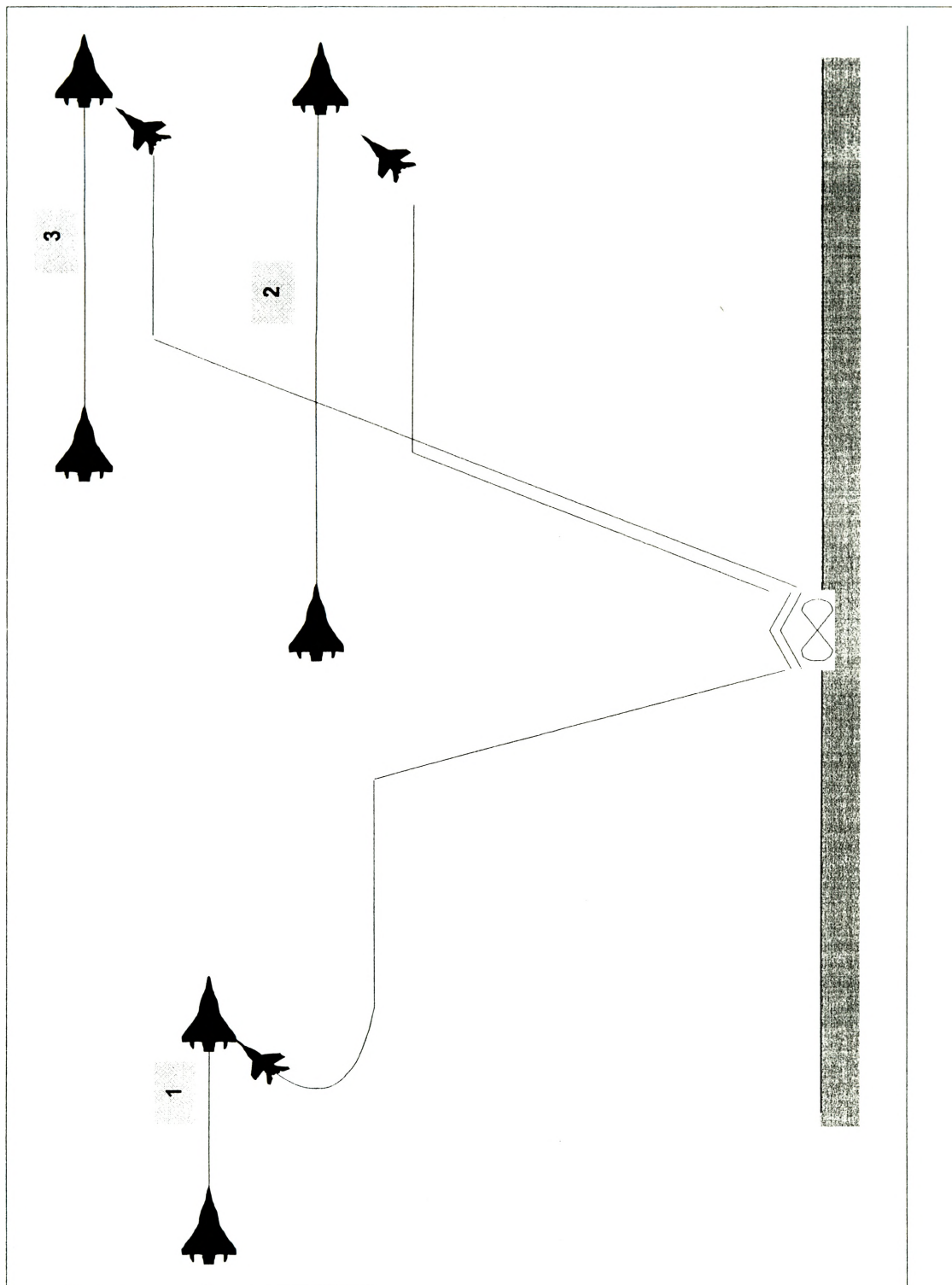
$$D_{MRWWL} = \frac{D_{WYKR} + d - V_c t_{\Sigma} + n S_{wzn.}}{1 - n}; \quad (3.29.)$$

Zależności 3.28 i 3.29 odnoszą się do sytuacji, w których cel został wykryty przed lub za lotniskiem, lecz wznoszenie myśliwców przechwytyjących musi odbyć się na kursie zgodnym z kursem lotu celu (przypadek 2 i 3, rys.3.13). Przechwycenie odbywa się na dopędzaniu. Dlatego w omawianych zależnościach przyjęto $t_{man} = 0$.

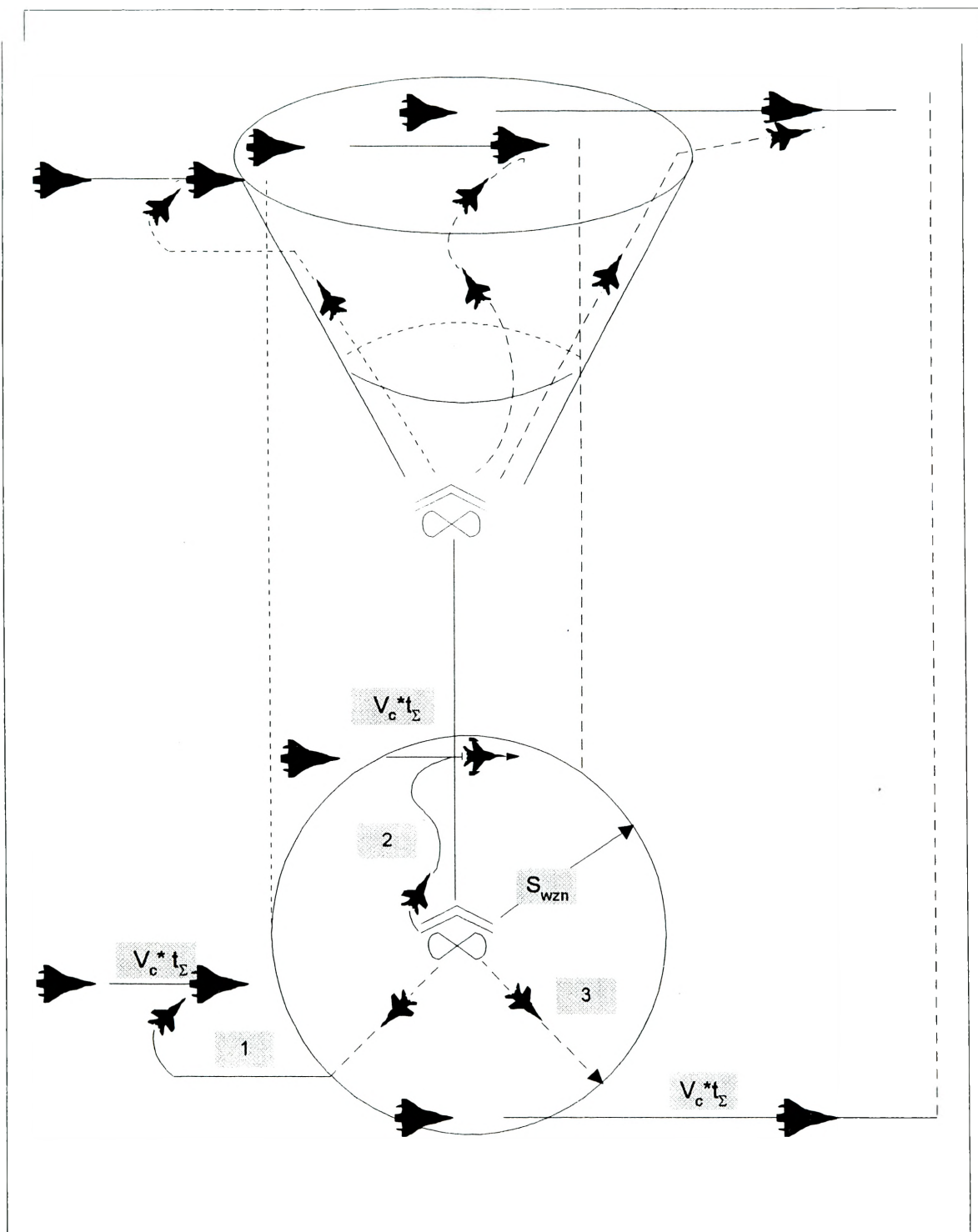
W dotychczasowych rozważaniach rozpatrywaliśmy przypadki, w których samoloty myśliwskie po wejściu na wysokość rozpoczęcia manewru lub na wysokość przechwycenia, lecą jeszcze przez pewien czas poziomo do punktu wprowadzania ich do walki. W czasie przechwytywania celów powietrznych, myśliwce w zasadzie wznoszą się na wysokość lotu celu powietrznego przebywając określoną drogę równą S_{wzn} , której rzut na płaszczyznę poziomą utworzy powierzchnię podobną od odwróconego stożka (rys.3.14), ze względu na to, że myśliwce mogą wznosić się od lotniska startu (punktu początku naprowadzania) we wszystkich kierunkach.

Rysunek 3.14. przedstawia trzy możliwe sytuacje w momencie zakończenia naprowadzania, kiedy to:

1. Wprowadzenie myśliwca do walki odbywa się przed stożkiem wznoszenia. Oznacza to, że odległość wykrycia była dostatecznie duża, aby myśliwiec wznosił się na wysokość niezbędną do wykonania ataku, zbliżył się do punktu początku manewru w locie poziomym na kursie przeciwnym do kursu celu i wykonał manewr wyprowadzający go w tylną półsferę celu.
2. Wykrycie celu powietrznego nastąpiło późno, a możliwość wprowadzenia myśliwca do walki istnieje tylko w stożku wznoszenia. Gdyby myśliwiec przyjął wariant wznoszenia się na wysokość lotu celu po prostej, a następnie wykonał manewr do wyjścia do ataku, to znalazłby się na znacznej odległości za celem. W wypadku, kiedy nabierałby wysokość z kursem zgodnym do kursu celu, znalazłby się przed celem. W takiej sytuacji konieczne jest



ys.3.13. Przykłady sytuacji przechwytywania ŚNP przez LM z dyżurowania na lotnisku



Rys. 3.14. Stożek wznoszenia samolotów myśliwskich

nabieranie wysokości po łamanej linii lotu tak, aby koniec wznoszenia nastąpił w punkcie dogodnym do wykonania ataku.

3. Wykrycie nastąpiło tak późno, że przechwycenie jest możliwe, jednak odbywa się w pościgu. Oznacza to, że myśliwiec po naborze wysokości z kursem zgodnym z kursem celu, musi dopędzać cel w locie poziomym.

Podczas przechwytywania celów na kursach przeciwnych (kiedy atak nastąpi w przednią półsferę celu) w zależnościach 3.26., 3.27., 3.28. i 3.29. oraz w warunkach wyboru tych zależności należy zmienić znak parametru d na przeciwny. Otrzymamy wówczas następujące postacie zależności:

W wypadku gdy wejście do walki nastąpi przed lotniskiem i przed stożkiem wznoszenia (tzn. $0 < D_{WYKR} - d - V_c t_\Sigma > S_{WZN}$), a w momencie wejścia do walki samolot atakujący będzie w odległości d przed celem (atak w przednią półsferę celu) D_{MRWWL} można określić wykorzystując zależność:

$$D_{MRWWL} = \frac{D_{WYKR} - d - V_c t_\Sigma + n S_{WZN}}{1 + n}; \quad (3.30.)$$

W wypadku, gdy wejście do walki w przednią półsferę celu nastąpi w stożku wznoszenia przed lotniskiem (tzn. $0 < D_{WYKR} - d - V_c t_\Sigma < S_{WZN}$), do obliczania D_{MRWWL} korzystamy z zależności:

$$D_{MRWWL} = D_{WYKR} + d - V_c t_\Sigma; \quad (3.31)$$

Jeżeli wejście do walki będzie miało miejsce w stożku wznoszenia, ale za lotniskiem (tzn. $0 > D_{WYKR} - d - V_c t_\Sigma$ i jednocześnie $|D_{WYKR} + d - V_c(t_\Sigma + t_{man})| < S_{WZN}$), wówczas obliczenia D_{MRWWL} możemy dokonać w oparciu o zależność:

$$D_{MRWWL} = D_{WYKR} - d - V_c(t_\Sigma + t_{man}); \quad (3.32.)$$

Gdy przechwycenie wystąpi za lotniskiem i stożkiem wznoszenia (tzn. $0 > D_{WYKR} - d - V_c t_\Sigma$ i jednocześnie $|D_{WYKR} + d - V_c t_\Sigma| > S_{WZN}$) w celu określenia wartości D_{MRWWL} wykorzystywać należy zależność:

$$D_{MRWWL} = \frac{D_{WYKR} - d - V_c t_\Sigma + n S_{WZN}}{1 - n}; \quad (3.33.)$$

Przykład 3.4.

Obliczyć D_{MRWW1} jeżeli : $D_{WYKR1} = 250$ km, $V_c = 700$ km/h, $H_c = 900$ m,

$t_{inf id} = 2$ min, $t_g = 4$ min, $V_m = 1000$ km/h, $t_{wzn} = 6$ min, $S_{wzn} = 70$ km, $d = 12$ km, niezbędny manewr o kąt 180° z $\beta = 50^\circ$ dla wyjścia w tylną półsferę celu.

Rozwiązanie:

$$t_{180^\circ} = 0,64 \frac{V_m}{t_{g\beta}} * \frac{1}{2} = 0,64 * \frac{277m/s}{1,2} * \frac{1}{2} = 74s = 1,2 \text{ min}$$

$$t_\Sigma = t_{inf id} + t_g + t_{wzn} = 2 \text{ min} + 4 \text{ min} + 6 \text{ min} = 12 \text{ min}$$

Przeprowadzamy analizę warunków:

$$D_{wykr1} + d - V_c (t_\Sigma + t_{man}) = 250 \text{ km} + 12 \text{ km} - 11,7 \text{ km/min} (12 \text{ min} + 1,2 \text{ min}) = 262 \text{ km} - 156 \text{ km} = 106 \text{ km}.$$

$$0 < 106 \text{ km} > S_{wzn}.$$

Wobec tego został spełniony warunek do zastosowania zależności 3.26.

$$n = \frac{V_c}{V_m} = \frac{700 \text{ km/h}}{1000 \text{ km/h}} = 0,7$$

Podstawiając wartości danych wejściowych do zależności 3.26. otrzymujemy:

$$D_{MRWW1} = \frac{250 \text{ km} + 12 \text{ km} - 11,7 \text{ km/min} / 12 \text{ min} + 1,2 \text{ min} / + 0,7 * 70 \text{ km}}{1 + 0,7} = 92 \text{ km}$$

Przykład 3.5.

Oblicz D_{MRWW1} jeżeli : $D_{WYKR1} = 183$ km, $H_c = 8000$ m, $V_c = 700$ km/h, $t_{inf id} = 2$ min, $t_g = 4$ min, $t_{wzn} = 4,9$ min, $S_{wzn} = 55$ km, $d = 10$ km, $t_{man} = 1$ min.

Przeprowadzamy analizę:

$$D_{wykr1} + d - V_c (t_\Sigma + t_{man}) = 183 \text{ km} + 10 \text{ km} - 11,7 \text{ km/min}$$

$$(2 \text{ min} + 4 \text{ min} + 4,9 \text{ min} + 1 \text{ min}) = 193 \text{ km} - 138 \text{ km} = 55 \text{ km}$$

$$\text{gdzie: } 0 < 55 \text{ km} = S_{wzn}.$$

Analiza warunków wyboru zależności wykazała, że badana wartość jest większa od 0 i równa S_{wzn} (drodze wznoszenia). Zaistnieje zatem sytuacja, w której myśliwiec

zaraz po nabraniu wysokości powinien wykonać manewr. $MRWW_1$ będzie położona na krawędzi stożka wznoszenia. W tym przypadku zastosujemy zależność 3.27.

$$D_{MRWW_1} = S_{wzn.} = 55 \text{ km.}$$

Przykład 3.6.

Wszystkie dane jak w przykładzie 3.5. z wyjątkiem odległości wykrycia, które wynosi 173 km.

Przeprowadzamy sprawdzenie warunków wyboru postaci zależności:

$$D_{wykr.1} + d - V_c (t_{\Sigma} + t_{man}) = 173 \text{ km} + 10 \text{ km} - 11,7 \text{ km/min} (2 \text{ min} + 4 \text{ min} + 4,9 \text{ min} + 1 \text{ min}) \\ = 183 \text{ km} - 138 \text{ km} = 56 \text{ km, gdzie: } 0 < 45 \text{ km} < S_{wzn.}$$

Ze względu na to, że badana wielkość jest mniejsza od S_{wzn} musimy wykonać kolejne sprawdzenie bez uwzględnienia t_{man} .

$$D_{wykr.1} + d - V_c * t_{\Sigma} = 173 \text{ km} + 10 \text{ km} - 11,7 \text{ km/min} (2 \text{ min} + 4 \text{ min} + 4,9 \text{ min}) = 56 \text{ km.}$$

Ze sprawdzenia kolejnego warunku wyboru zależności wynika, że badana wartość jest większa od S_{wzn} . Zaistnieje sytuacja, że myśliwiec musi rozpocząć manewr wyjścia w tylną półsferę celu w trakcie wznoszenia, a zakończy go w locie poziomym wychodząc na pozycję do statku. W takiej sytuacji D_{MRWW_1} obliczymy za pomocą zależności 3.28.

$$D_{MRWW_1} = D_{wykr.1} + d - V_c (t_{\Sigma} + t_{man})$$

$$D_{MRWW_1} = 173 \text{ km} + 10 \text{ km} - 11,7 \text{ km/min} (2 \text{ min} + 4 \text{ min} + 4,9 \text{ min} + 1 \text{ min}) = 45 \text{ km} .$$

Przykład 3.7.

Obliczyć D_{MRWW_1} jeżeli cel powietrzny został wykryty na odległości 120 km od lotniska i wykonuje lot na wysokości 5000 m z prędkością 720 km/h. Myśliwiec leci z prędkością 1000 km/h. Start myśliwca nastąpił po 6 min od momentu wykrycia celu. Czas wznoszenia myśliwca na wysokość 5000 m wynosi 2,9 min. Droga wznoszenia wynosi 25 km, a odległość nakazana wyprowadzania myśliwca w tylną półsferę celu wynosi 8 km. Przechylenie myśliwca w czasie wykonania manewru $\beta = 45^\circ$.

Przeprowadzamy analizę warunków wyboru zależności:

$$t_{\Sigma} = t_{pas.} + t_{wzn} = 6 \text{ min} + 2,9 \text{ min} = 8,9 \text{ min}$$

$$t_{\text{man}} = t_{180^\circ} = 0,64 \frac{V_m}{t_{g\beta}} * \frac{1}{22} = 0,64 \frac{200m/s}{1} * \frac{1}{2} = \frac{128}{2} = 64s$$

$$t_{\text{wykr}1} + d - V_c (t_\Sigma + t_{\text{man}}) = 120 \text{ km} + 8 \text{ km} - 12 \text{ km/min} (2 \text{ min} + 4 \text{ min} + 2,9 \text{ min} + 1,1 \text{ min}) = 8 \text{ km}$$

gdzie : $0 < 8 \text{ km} < S_{\text{wzn}}$.

Sprawdzenie warunków wykazało, że badana wartość jest większa od 0 (oznacza to, że wprowadzenie do walki myśliwca odbędzie się jeszcze przed lotniskiem) oraz jest mniejsza od S_{wzn} ($D_{\text{MRWW}1}$ będzie w stożku wznoszenia). Sprawdzamy wobec tego następny warunek (w którym badana wielkość brana jest bez uwzględnienia t_{man} .

$$D_{\text{wykr}1} + d - V_c * t_\Sigma = 120 \text{ km} + 8 \text{ km} - 12 \text{ km/min} (2 \text{ min} + 4 \text{ min} + 2,9 \text{ min}) \cong 21 \text{ km}$$

gdzie: $0 < 21 \text{ km} < S_{\text{wzn}}$.

Możemy zatem wykorzystać zależność 3.28.

$$D_{\text{MRWW}1} = D_{\text{WYKR}1} + d - V_c * t_\Sigma = 120 \text{ km} + 8 \text{ km} - 12 \text{ km/min} * 8,9 \text{ min} = 21 \text{ km}$$

Przykład 3.8.

Oblicz $D_{\text{MRWW}1}$ jeżeli cel został wykryty 80 km przed lotniskiem i wykonuje lot na wysokości 2000 m z prędkością 720 km/h. Myśliwiec wystartował po 6 min od chwili wykrycia i leci z prędkością 1000 km/h. Czas wznoszenia myśliwca na wysokość 2000 m wynosi 1,5 min, a droga wznoszenia 5 km. Nakazana odległość wyprowadzenia myśliwca w tylną półsferę celu wynosi 6 km.

Przeprowadzenie analizy warunków wyboru zależności:

$$t_\Sigma = t_{\text{pas}} + t_{\text{wzn}} = 6 \text{ min} + 1,5 \text{ min} = 7,5 \text{ min}$$

$$D_{\text{wykr}1} + d - V_c * t_\Sigma = 80 \text{ km} + 6 \text{ km} - 12 \text{ km/min} * 7,5 \text{ min} = 86 \text{ km} - 90 \text{ km} = -4 \text{ km}$$

Gdzie: $0 > -4 \text{ km}$.

Ze sprawdzenia warunków wyboru zależności wynika (badana wartość jest mniejsza od „0”), że wprowadzenie do walki myśliwca nastąpi za lotniskiem. Należy tylko stwierdzić czy będzie jeszcze w stożku wznoszenia, czy poza nim.

$$| \pm D_{\text{wykr}1} + d - V_c * t_\Sigma | = | 80 \text{ km} + 6 \text{ km} - 12 \text{ km/min} * 7,5 \text{ min} | = | -4 \text{ km} | = 4 \text{ km}$$

$$4 \text{ km} < S_{\text{wzn}} = 5 \text{ km}$$

Z porównania wynika, że D_{MRWW1} , będzie jeszcze w stożku wznoszenia, ale za lotniskiem, więc należy zastosować zależność 3.28.

$$D_{MRWW1} = \pm (D_{wykr1} + d - V_c * t_{\Sigma}) = 80 \text{ km} + 6 \text{ km} - 12 \text{ km/min} * 7,5 \text{ min} = -4 \text{ km}$$

$$D_{MRWW1} = -4 \text{ km.}$$

Przykład 3.9.

Cel został wykryty na odległość 50 km przed lotniskiem i wykonuje lot na wysokości 500 m z prędkością 900 km/h. Myśliwiec wystartował po 5 min od chwili wykrycia celu i leci z prędkością 1200 km/h. Czas wznoszenia myśliwca - 1 min. Droga wznoszenia jest bardzo mała i nie bierzemy jej pod uwagę. Nakazana odległość wyjścia w tylną półsferę celu wynosi 3 km.

Przeprowadzamy analizę warunków wyboru zależności:

$$t_{\Sigma} = t_{pas} + t_{wzn} = 5 \text{ min} + 1 \text{ min} = 6 \text{ min}$$

$$D_{wykr1} + d - V_c * t_{\Sigma} = 50 \text{ km} + 3 \text{ km} - 15 \text{ km/min} * 6 \text{ min} = -37 \text{ km.}$$

Otrzymane rezultaty oznaczają, że wprowadzenie do walki myśliwca odbędzie się poza lotniskiem i poza stożkiem wznoszenia, dlatego D_{MRWW1} możemy obliczyć według zależności 3.29.

$$D_{MRWW1} = \frac{\pm D_{wykr1} + d - V_c * t_{\Sigma} + nS_{wzn}}{1 - n}$$

$$n = \frac{9900 \text{ km/h}}{12000 \text{ km/h}} = 0,75$$

$$D_{MRWW1} = \frac{50 \text{ km} + 3 \text{ km} - 12 \text{ km/min} * 6 \text{ min} + 0,75 * 0}{1 - 0,75} = -148 \text{ km}$$

$D_{MRWW1} = -148 \text{ km}$. Wprowadzenie myśliwca do walki nastąpi za lotniskiem na odległości 148 km.

Znając zależności obliczenia D_{MRWW1} można, w okresie przygotowania się do działań bojowych, obliczyć wcześniej możliwości wprowadzania do walki samolotów myśliwskich z dyżurowania na lotniskach, zakładając odpowiednie dane wyjściowe na podstawie oceny sytuacji

Metody graficzne określania położenia MRWW podczas przechwytywania celów powietrznych z dyżurowania na lotnisku

Obliczanie D_{MRWW} przy pomocy metod algebraicznych jest z reguły stosowane w okresie przygotowywania się do działań bojowych, kiedy ograniczenia czasu na ocenę sytuacji nie są tak ostre jak w toku odpierania nalotu ŚNP przeciwnika i pozwalają na prowadzenie żmudnych obliczeń. Natomiast dla porównania potrzebnych i możliwych rubieży oraz szybkiego wyciągnięcia wniosków przesądzających o tym, które ŚNP można przechwytywać z dyżurowania na lotniskach, a które z dyżurowania w powietrzu, można posługiwać się metodami graficznymi i graficzno-algebraicznymi.

W praktyce mogą zaistnieć sytuacje, kiedy lecąc na przechwycenie celu powietrznego samolot myśliwski może wykonać lot (patrz rys. 3.15.)

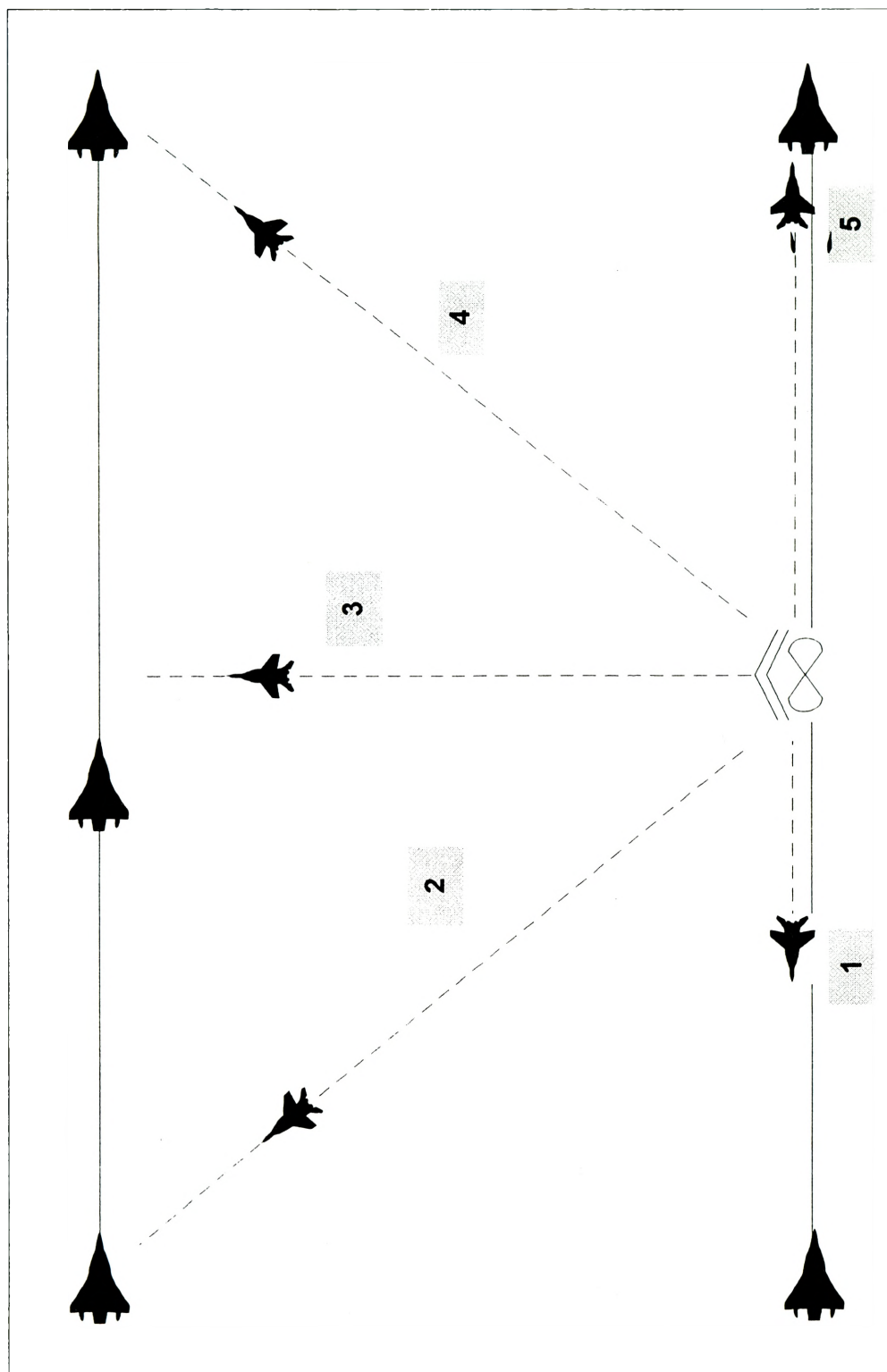
- z kursem przeciwnym do trasy lotu celu (1);
- z kursem przeciwnie przecinającym się z trasą lotu celu (2);
- z kursem prostopadłym do trasy lotu celu (3);
- z kursem zgodnie przecinającym się z trasą lotu celu (4);
- z kursem zgodnym z trasą lotu celu (5).

W sytuacji, w której trajektoria lotu celu przebiega w pobliżu lotniska startu samolotów myśliwskich (patrz rys. 3.15. sytuacja 1), MRWW można określić w przybliżony sposób według idei przedstawionej na rysunku 3.16. Z miejsca znajdowania się celu powietrznego wykreśla się prawdopodobną jego trasę aż do połączenia jej z lotniskiem startu myśliwców. Na prawdopodobnej trasie lotu celu odkładamy drogę celu w kierunku lotniska, przebytą za sumę czasu pasywnego i czasu manewru myśliwca pomniejszoną o odległość wyprowadzenia myśliwca w tylną półsferę celu:

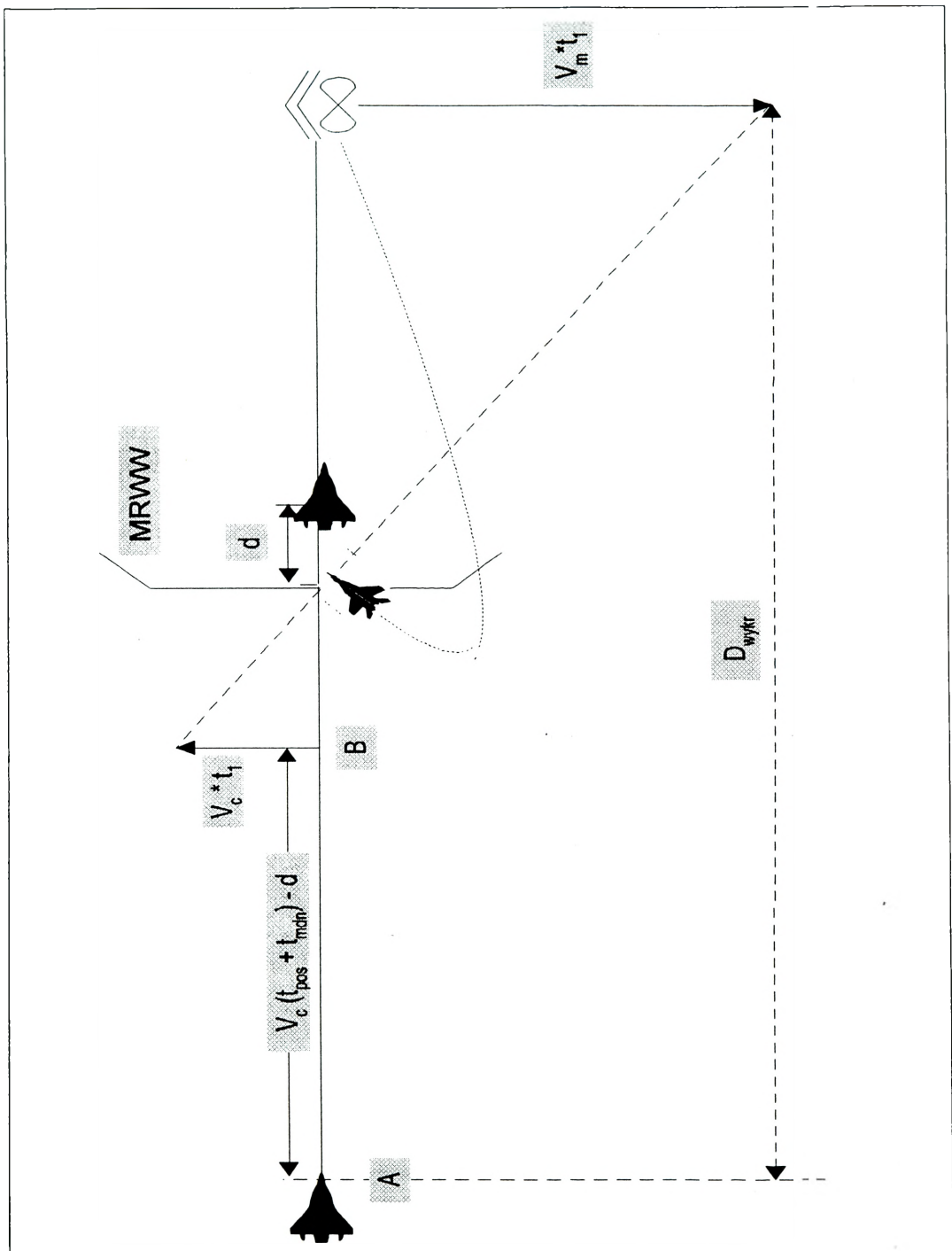
$$S_C = V_C * (t_{pas} + t_{man}) - d; \quad (3.34.)$$

W otrzymanym punkcie B wykreślamy wektor prędkości celu za czas pasywny ($V_C * t_{pas}$) prostopadle w stosunku do trasy celu. Następnie z lotniska wykreślamy

prostopadle do trasy celu, lecz w przeciwnym kierunku co wektor $V_C * t_{pa}$ oraz prędkości myśliwca za ten sam czas pasywny ($V_m * t_{pas}$).



Rys.3.15. Przykłady sytuacji przechwytywania ŚNP przez LM z dyżurowania na lotnisku



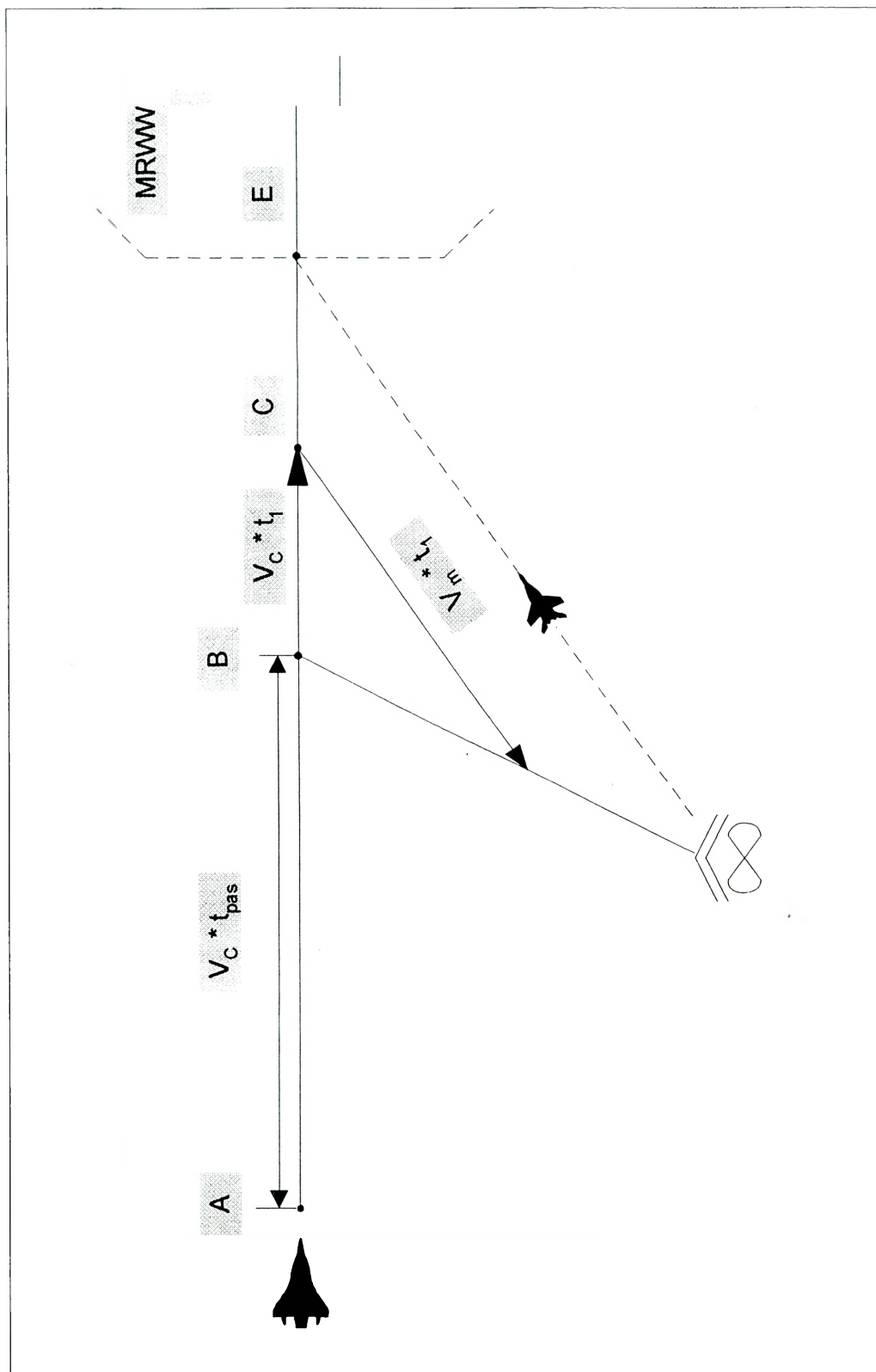
Rys.3.16. Przykład określania położenia MRWW metodą graficzną

Po połączeniu końców wektorów V_C i V_m otrzymamy miejsce przecięcia się z trasą lotu celu, które jest poszukiwanym przez nas położeniem MRWW.

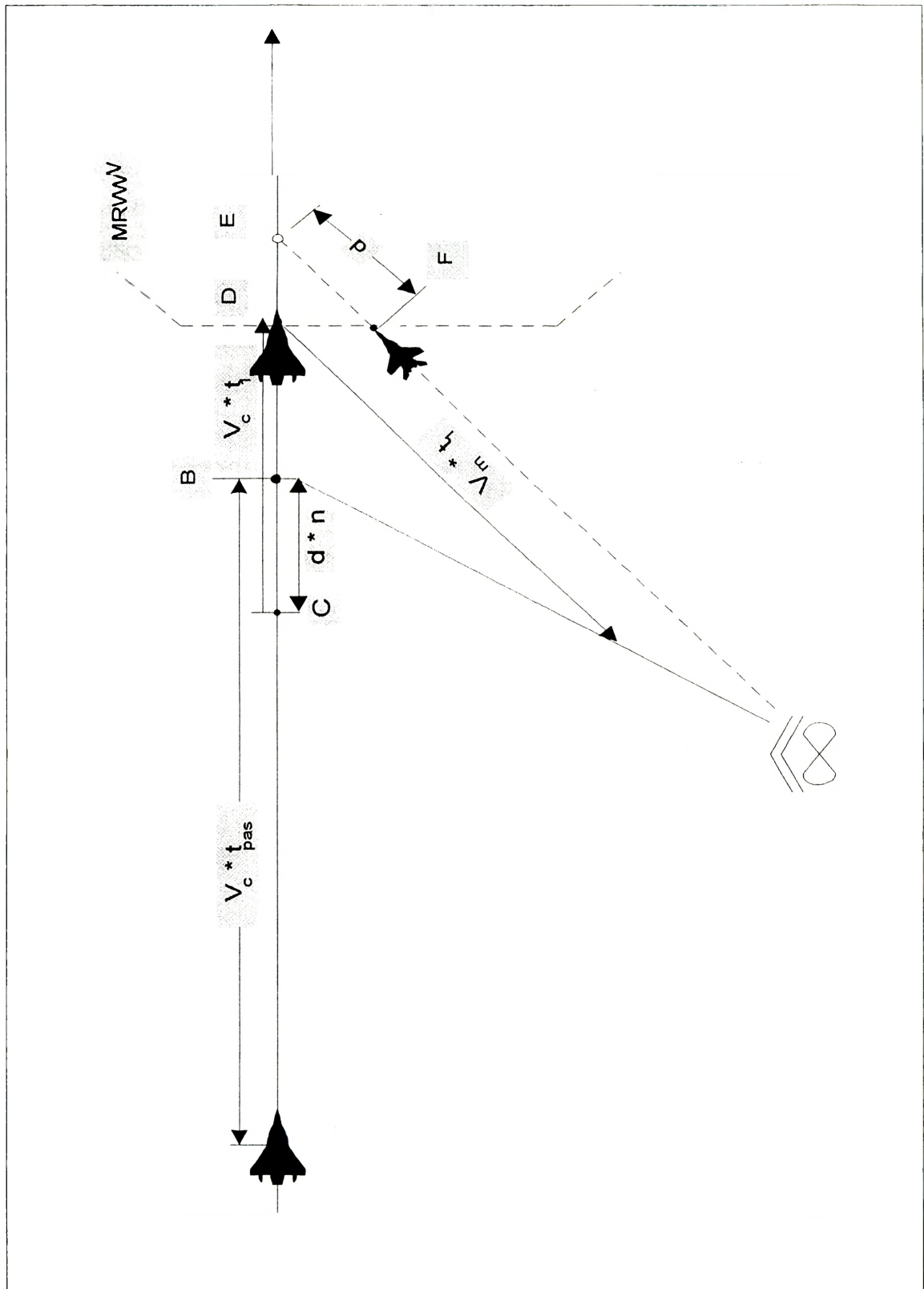
Podczas przechwytywania celów powietrznych na kursach przeciwnie przecinających się, prostopadłych i zgodnie przecinających się, przy założeniu, że naprowadzania myśliwca odbywa się metodą „równoległego zbliżania”, położenie MRWW możemy określić sposobem graficznym według idei przedstawionej na rysunku 3.17.

Algorytm postępowania polega na wykreśleniu trasy celu i ustaleniu jego położenia w momencie startu myśliwca. Od tego miejsca, zgodnie z kierunkiem lotu celu, odkładamy jego drogę za czas pasywny ($S_C = V_C \cdot t_{pas}$). Z otrzymanego w ten sposób punktu „B” wykreślamy linię prostą na lotnisko startu myśliwca, a na trasie lotu celu odkładamy wektor jego prędkości za dowolnie przyjęty czas „ t_1 ”. Z końca wektora $V_C \cdot t_1$ (punktu C), wykreślamy wektor prędkości myśliwca ($V_m \cdot t_1$) tak, aby jego koniec (grot strzałki) stykał się z linią łączącą lotnisko i punkt B. Następnie przeprowadzamy z lotniska linię równoległą do wektora prędkości myśliwca ($V_m \cdot t_1$). Punkt przecięcia się tej linii z trasą lotu celu określa położenie MRWW.

W sytuacji, kiedy przechwytywanie celu powietrznego odbywa się na kursach prostopadłych oraz przeciwnie i zgodnie przecinających się, a naprowadzanie realizowane jest metodą „prostego zbliżenia”, możemy określić MRWW również graficznie. Ilustruje to rysunek 3.18. W tym celu na trasie lotu ŚNP, wyznaczamy punkt „B” za pomocą odcinka $S_C = V_C \cdot t_{pas}$, następnie z punktu B odkładamy w kierunku przeciwnym do kierunku lotu celu, odcinek równy (d_n). Jego koniec stanowi punkt C. Z tego punktu, zgodnie z kierunkiem lotu celu, odkładamy wektor celu ($V_C \cdot t_1$), koniec tego wektora tworzy punkt D na trasie lotu celu. Z punktu D odkładamy wektor prędkości myśliwca ($V_m \cdot t_1$), tak aby jego grot stykał się z linią wizowania (łączącą lotnisko z punktem B, leżącym na trasie lotu celu). Następnie z lotniska wykreślamy linię równoległą do wektora prędkości myśliwca tak, aby linia ta przecięła się z trasą lotu celu tworząc punkt „E”. Z punktu „E” odkładamy w stronę przeciwną do kierunku lotu myśliwca odcinek równy nakazanej odległości wyprowadzania myśliwca w tylną półsferę celu „d”.



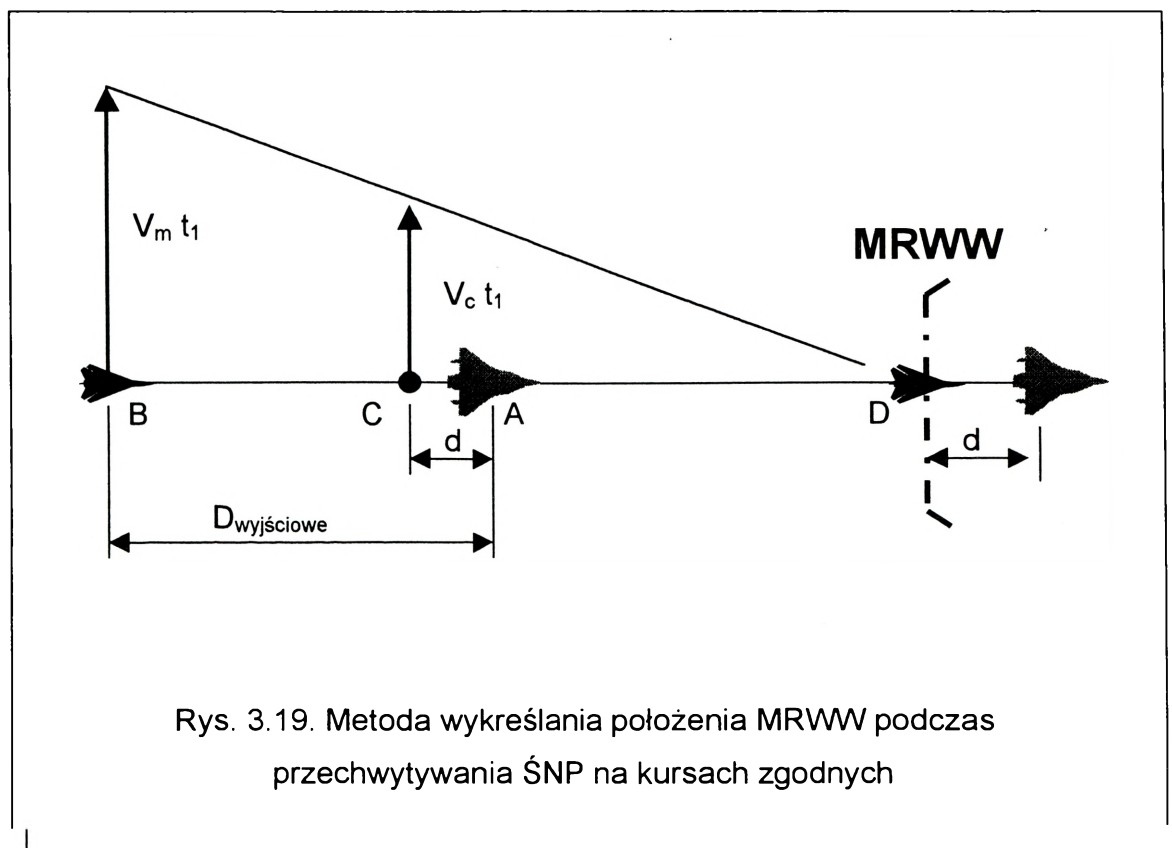
Rys.3.17. Graficzne określenie położenia MRWW podczas przechwytywania celów na kursach przecinających się podczas naprowadzania metodą „równoległego zbliżenia”



Rys.3.18. Graficzne określenie położenia MRWW podczas przechwytywania celów na kursach przecinających się podczas naprowadzania metodą „prostego zbliżenia”

Otrzymany punkt „F” stanowi MRWW z uwzględnieniem wyprowadzenie myśliwca na odległość „d” za cel. Patrz rys. 3.18.

W sytuacjach nawigacyjno-taktycznych, kiedy przechwytywanie celu powietrznego odbywa się na kursach zgodnych w wyniku pościgu celu, określenie MRWW metodą graficzną może być wykonane według niżej podanego sposobu. Wykreślamy trasę lotu celu, oznaczając miejsce znajdowania się celu w chwili początkowej jako punkt A. W odległości $D_{wyjście}$ za celem oznaczamy położenie myśliwca jako punkt B. Następnie, z punktu A w stronę przeciwną do kierunku lotu celu, odkładamy odcinek „d” wyznaczając punkt „C”. Z tego punktu prostopadle do kierunku trasy lotu celu odkładamy wektor prędkości celu ($V_c \cdot t_1$), a z punktu „B” odkładamy wektor prędkości myśliwca ($V_m \cdot t_1$). Po przeprowadzeniu linii prostej przez końce obu wektorów w miejscu przecięcia się jej z trasą lotu celu, otrzymamy punkt „D”, który odpowiada położeniu MRWW. Ilustruje to rys.3.19.



Graficzne wykreślanie MRWW na mapie (wskaźniku) podczas przechwytywania celów powietrznych ma wiele cech dodatnich, a mianowicie:

- daje możliwość określania kursu naprowadzania samolotów myśliwskich ;
- daje możliwość sprawdzenia, czy samoloty myśliwskie zdążą nabrać odpowiednią wysokość na planowanej trasie lotu (przez porównanie długości trajektorii myśliwców z potrzebną drogą naboru wysokości - S_{wzn}).

Mankamentem graficznego określenia MRWW jest to, że sposób ten w zasadzie nadaje się do stosowania w nieskomplikowanej sytuacji taktyczno-nawigacyjnej, kiedy przechwytywanie (naprowadzanie) odbywa się na prędkościach stałych bez potrzeby rozpędzania samolotu myśliwskiego oraz podczas ataków na wysokościach małych i średnich, gdzie nie trzeba stosować określonych profili naboru wysokości myśliwców.

Niemniej graficzne sposoby określanie MRWW należy stosować ze względu na ich prostotę, szybkość i względną dokładność wystarczającą w praktycznym działaniu. Należy podkreślić, że oceny możliwości przechwytywania ŚNP przez doświadczonych dowódców i nawigatorów naprowadzania posługujących się omawianymi metodami mogą być niejednokrotnie dokonywane szybciej, niż przy wykorzystywaniu oprogramowania wspomagającego rozwiązywanie tych zadań²⁰, oczywiście jeżeli oprogramowanie to nie posiada ergonomicznego interfejsu i wymaga „ręcznego” wprowadzania danych.

Dla ułatwienia stosowania metod graficznych często wykorzystuje się linijki wyskalowane w minutowych odcinkach lotu. Określanie położenia możliwych rubieży wprowadzenia do walki przy pomocy specjalnie przygotowanych linijek opiera się na tych samych założeniach co opisane wyżej metody graficzne.

²⁰ Przykładem systemu wspomagającego obliczanie położenia MRWW był system „SKAŁKA” wycofany z użytkowania między innymi z uwagi na „nieprzyjazny” dla użytkownika interfejs. Czas wprowadzania danych wejściowych podczas wykorzystywania tego systemu jako wspomagającego proces naprowadzania, był niejednokrotnie tak długi, że wyniki kalkulacji w momencie ich pozyskania były już nieaktualne.

3.4.2. Metody określania możliwości przechwytywania celów powietrznych przez LM z dyżurowania w powietrzu

Przechwytywanie celów powietrznych z dyżurowania w powietrzu zalicza się do podstawowych sposobów działań tego rodzaju lotnictwa podczas wykonywania zadań osłony wojsk i obiektów przed rozpoznaniem i uderzeniem ŚNP przeciwnika. W Siłach Powietrznych NATO ten sposób działań określa się mianem CAP- Combat Air Patrol. Strefy dyżurowania rozmieszcza się wówczas w obszarach odpowiedzialności lotnictwa – FAOR (Fighter Area of Responsibility). Położenie stref dyżurowania w stosunku do kierunku spodziewanego nalotu ilustrują rysunki 3.20. i 3.21. Lokalizacja FAOR powinna zapewniać realizację zadań osłony kierunków powietrznych lub obiektów. Wynika stąd konieczność zabezpieczenia w informację o ŚNP, wystarczającą do wejścia do walki w obszarze FAOR, zarówno załóg dyżurujących w powietrzu jak i stanowisk dowodzenia (punktów naprowadzania). Współczesne samoloty myśliwskie III i IV generacji posiadają pokładowe środki wykrywania i rozpoznania obiektów powietrznych o takich parametrach, które niejednokrotnie wystarczają do prowadzenia działań autonomicznych i zapewniają wykonanie ataków w wyznaczonym obszarze.

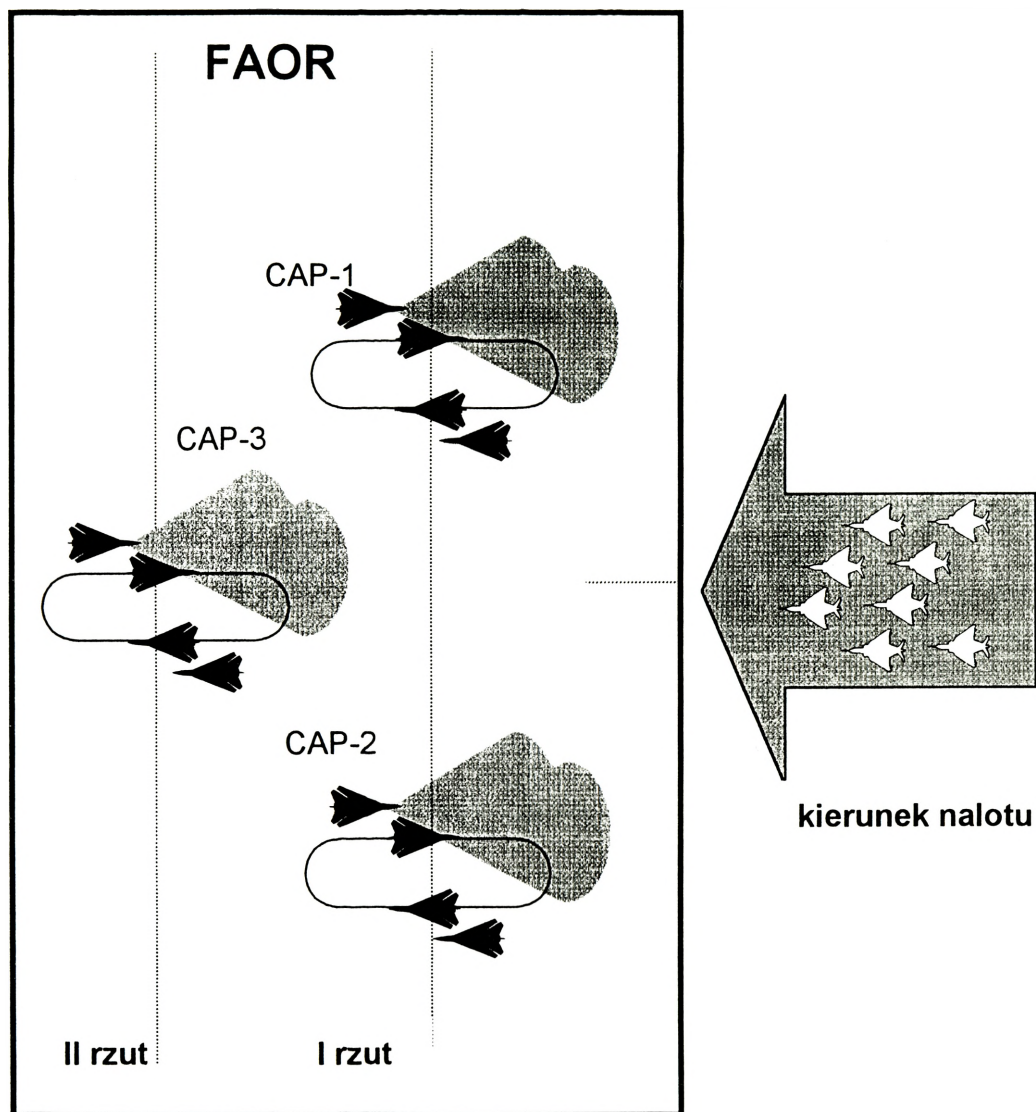
Istota tych działań polega na tym, że samoloty myśliwskie znajdują się w powietrzu, w strefach dyżurowania w zasięgu strefy informacji radiolokacyjnej i łączności radiowej z punktami naprowadzania oraz stanowiskiem dowodzenia.

Z chwilą wykrycia celów powietrznych przez system rozpoznania samoloty myśliwskie są naprowadzane na nie przy pomocy określonych komend i informacji podawanych przez nawigatora znajdującego się w punkcie naprowadzania. Ten sposób działań stosuje się szczególnie w sytuacji, kiedy nie ma możliwości wykonania zadania osłony wojsk i obiektów z dyżurowania na lotnisku.

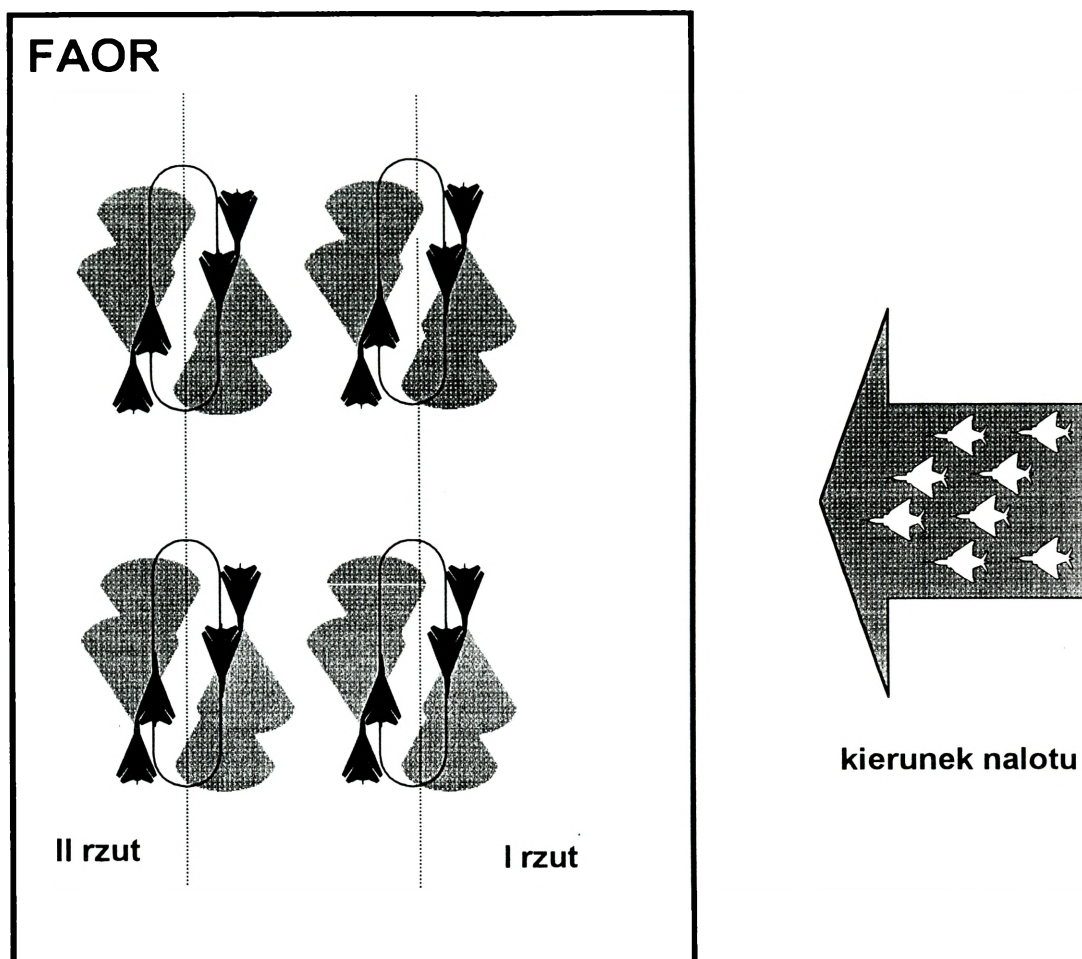
Wprowadzanie myśliwców do walki z dyżurowania w powietrzu z wyznaczonych wcześniej stref powoduje, że czas pasywny jest znacznie krótszy, a tym samym rubież przechwycenia celu powietrznego przebiega w dogodniejszym miejscu względem obiektu osłony.

Określenie możliwości przechwytywania celów powietrznych z dyżurowania w powietrzu, a także propozycje właściwego rozmieszczenia stref dyżurowania należą

do ważnych elementów zabezpieczenia nawigatorskiego działań bojowych lotnictwa wykonującego zadania defensywne.



Rys. 3.20. Ilustracja zasad operowania samolotów myśliwskich w obszarze odpowiedzialności (FAOR), wyposażonych w radar dopplerowski.



Rys. 3.21 Ilustracja operowania samolotów myśliwskich w obszarze odpowiedzialności (FAOR) wyposażonych w radar impulsowy.

Strefy dyżurowania powinny być rozmieszczone na podejściach do osłanianych obiektów i wojsk w takiej odległości, ażeby zapewnić:

- wprowadzenie samolotów myśliwskich do walki na potrzebnych rubieżach;
- obserwację własnych myśliwców na wskaźnikach własnych stacji radiolokacyjnych;
- utrzymywanie dwustronnej łączności radiowej pomiędzy dyżurującymi w strefie samolotami myśliwskimi, a stanowiskiem dowodzenia lub punktem naprowadzania;

- dyżurowanie poza zasięgiem środków OPL przeciwnika;
- łatwość utrzymania się w obrębie strefy według orientacji wzrokowej.

Strefy dyżurowania powinny obejmować całą szerokość osłanianego rejonu, tak aby cel powietrzny, lecący po trasie przechodzącej między sąsiednimi strefami, mógł być przechwycony przez dyżurujące myśliwce z jednej z tych stref. Kształt strefy z zasady jest prostokątny, a rozmiary 30 ÷ 50 km na 25 – 30 km. Rozmiary strefy powinny zapewnić lot myśliwca w strefie wzdłuż dłuższego boku w czasie 1,5 – 2 min oraz wykonania swobodnego zakrętu o 180°. Strefę wyznacza się w oparciu o charakterystyczne obiekty orientacyjne w terenie.

Metoda algebraiczna określania położenia MRWWs

Odległość możliwej rubieży wprowadzania do walki myśliwców dyżurujących w strefie jest zależna głównie od odległości wykrycia ŚNP przez system rozpoznania oraz położenia stref dyżurowania względem rubieży wykrycia.

W wypadkach gdy trajektoria lotu ŚNP przechodzi w pobliżu środka strefy dyżurowania, aby obliczyć odległość możliwej rubieży wprowadzania samolotów myśliwskich do walki ze strefy dyżurowania od środka tej strefy posługujemy się następującą zależnością:

$$D_{MRWWs} = \frac{D_{wykr.s} \pm d - V_c(t_{pas1} + t_{man1})}{1 \pm n}; \quad (3.35.)$$

gdzie:

D_{MRWWs} – odległość od środka strefy dyżurowania do możliwej rubieży wprowadzania do walki;

$D_{wykr.s}$ – odległość wykrycia celu, mierzona od środka strefy dyżurowania myśliwców do rubieży wykrycia przez stacje radiolokacyjne na danej wysokości lotu celu powietrznego;

t_{pas1} – czas, jaki upłynie od momentu wykrycia celu powietrznego do momentu podania komendy na przechwycenie myśliwcom dyżurującym w strefie;

t_{man1} – łączny czas potrzebny myśliwcom do wykonania manewru wejścia do walki. W wypadku ataku w tylną półsferę celu będzie to czas potrzebny do wyjścia samolotu atakującego na kurs przeciwny do kursu celu powietrznego (pierwszy zakręt np. o

180°) oraz do wyjścia w tylną półsferę celu (drugi zakręt np. o 180° lub manewr pionowy) i zbliżenia się myśliwca względem celu na potrzebną odległość;

d - pożądana odległość między myśliwcem a celem powietrznym dla rozpoczęcia ataku. Znak „**plus**” dotyczy ataków w tylną półsferę celu powietrznego, zaś znak „**minus**” ataków na kursach przeciwnych.

n – stosunek prędkości celu do prędkości myśliwca. Znak „**plus**” dotyczy sytuacji w której licznik zależności 3.35 jest dodatni (wejście do walki samolotu myśliwskiego nastąpi przed środkiem strefy dyżurowania), zaś znak „**minus**” powinien być stosowany gdy licznik zależności 3.35. jest mniejszy od zera.

Obliczając D_{MRWWs} , bierzemy pod uwagę najbardziej niedogodne położenie samolotów myśliwskich względem celu powietrznego w momencie podania mu komendy na przechwycenia. Takim niedogodnym położeniem dla myśliwców jest sytuacja, kiedy lecą one z kursem zbliżonym do kursu celu. Czyli dla wykonania zbliżenia się do ŚNP z kursem przeciwnym muszą wykonać manewr kursem - zakręt o 180°. W kalkulacjach nawigacyjnych przyjmujemy, że czas dla wykonania manewrów wyjścia myśliwca do ataku w tylną półsferę ŚNP, wynosi w zależności od właściwości manewrowych samolotów myśliwskich 1 - 2 min (dwa zakręty o 180°) czyli $t_{man1} = 1 - 2$ min. Rysunek 3.22. jest graficznym uzasadnieniem zależności 3.35.

Jeżeli zaistnieje taka sytuacja, w której myśliwiec dla wykonania ataku celu musi się wznosić na wysokość po linii prostej, a następnie zmienić prędkość przez rozpędzanie i hamowanie, wówczas możliwą rubież wprowadzenia do walki obliczamy na podstawie zależności:

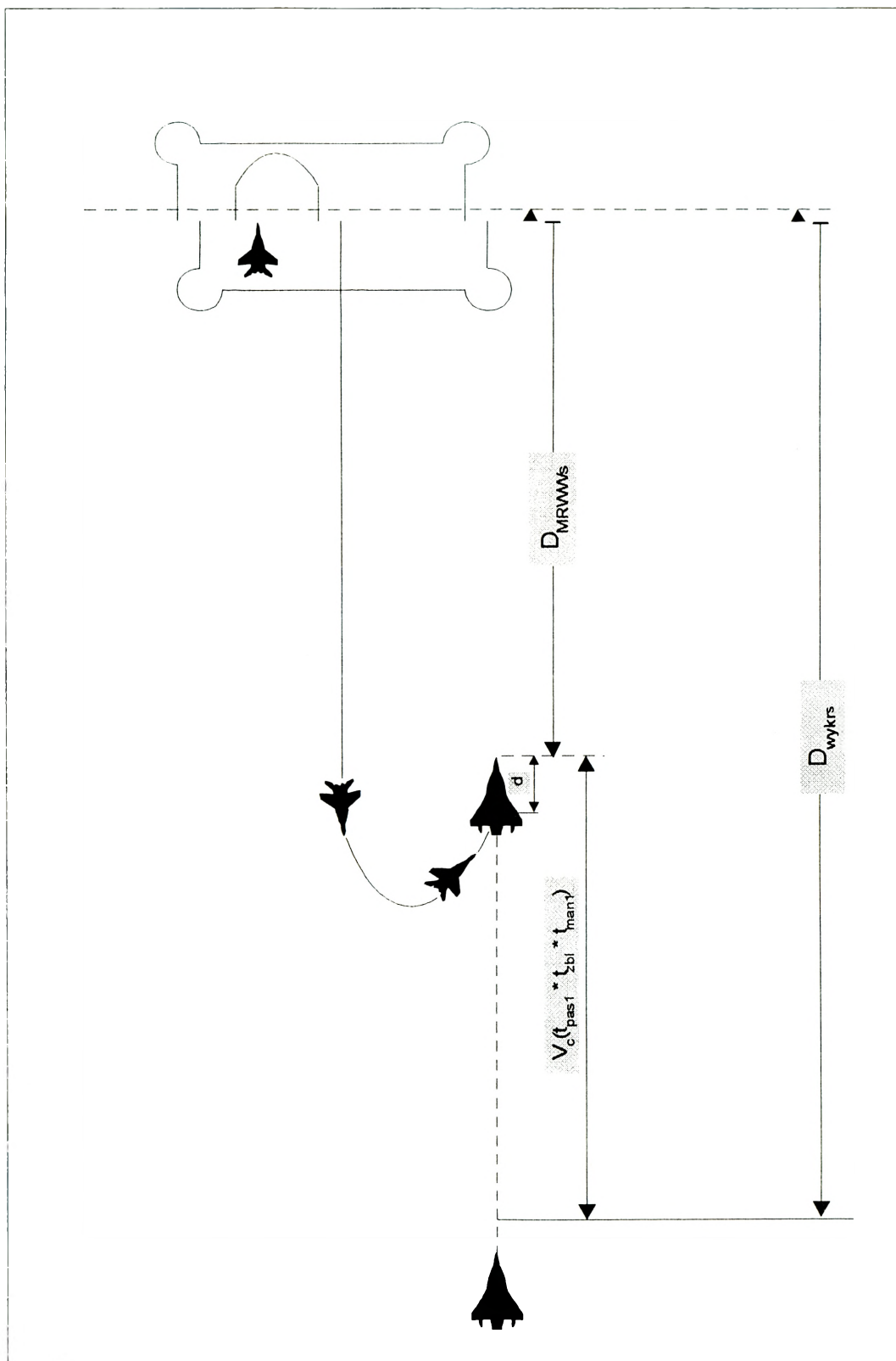
$$D_{MRWWs} = \frac{D_{wykrS} \pm d - V_C (t_{pas1} + t_{wzn} + t_{rp} + t_{hm} + t_{man1}) + n(S_{wzn} + S_{rp} + S_{hm})}{1 \pm n} \quad (3.36)$$

gdzie:

t_{wzn} i S_{wzn} - czas i droga wznoszenia myśliwca od wysokości dyżurowania na wysokość lotu celu:

t_{rp} i S_{rp} - czas i droga rozpędzania myśliwca:

t_{hm} i S_{hm} - czas i droga hamowania myśliwca.



Rys.3.22. Ogólny schemat przechwytywania ŚNP przez LM z dyżurowania w powietrzu

Przykład 3.10.

Obliczyć D_{MRWWS} jeżeli samoloty myśliwskie znajdują się w strefie dyżurowania w powietrzu, odległość wykrycia celu powietrznego przez posterunek radiolokacyjny wynosi 110km. Posterunek położony jest przed strefą w kierunku spodziewanego nalotu ŚNP. Odległość tego posterunku względem środka strefy dyżurowania (D_{RLSs}) wynosi 40 km, $t_{pas1} = 2\text{min}$, $t_{man} = 2\text{ min}$, $V_C = 900\text{ km/h}$, $n = 0,8$, $d = 3\text{ km}$, $D_{PRWWS} = 60\text{ km}$.

Rozwiązanie :

$$D_{wykrS} = L_{wykr} + (\pm D_{RLSs}) = 110\text{ km} + 40\text{ km} = 150\text{ km}$$

$$D_{MRWWS} = \frac{D_{wykrS} + d - V_c(t_{pas1} + t_{man})}{1 + n} = \frac{150 + 3 - 150 \cdot (2 + 2)}{1 + 0,8} \approx 52\text{km}$$

Wniosek:

W przytoczonej sytuacji taktycznej, dyżurujące w strefie myśliwce mogą być wprowadzone do walki z celem powietrznym w odległości 52 km przed strefą.

Przykład 3.11.

Samoloty myśliwskie dyżurujące w strefie na $H = 3000\text{ m}$, mają przechwycić cel powietrzny na $H=8000\text{m}$. Wiedząc, że: $D_{wykrS} = 280\text{ km}$, $d = 3\text{ km}$, $V_C = 1500\text{ km/h}$, $n=0.8$, $t_{wzn} = 90\text{s}$, $S_{WZN} = 30\text{km}$, $t_{hm} = 30\text{s}$, $S_{hm} = 10\text{ km}$, $t_{rp} = 90\text{s}$, $S_{rp} = 30\text{km}$ obliczyć D_{MRWWS}

Rozwiązanie:

$$D_{MRWWS} = \frac{D_{wykrS} + d - V_c(t_{pas1} + t_{wzn} + t_{rp} + t_{hm} + t_{man}) + n(S_{wzn} + S_{rp} + S_{hm})}{1 + n} = 84\text{km}$$

Wniosek:

Samoloty myśliwskie będą mogły być wprowadzone do walki z celem lecącym na $H=8000\text{ m}$ w odległości ok.84 km przed strefą, w której dyżurują.

Określanie możliwej odległości wprowadzenia samolotu myśliwskiego do walki ze strefy dyżurowania

Odległość, na jaką dyżurujący w strefie samolot myśliwski może się oddalić dla przechwycenia celu powietrznego, zależy od ilości posiadanego zapasu paliwa. Graniczną rubież wprowadzenia do walki ze strefy dyżurowania oblicza się za pomocą następującej zależności:

$$D_{maks} = V_{dyz} \cdot \frac{\Delta t}{2} \quad (3.37.)$$

gdzie:

V_{dyz} – rzeczywista prędkość samolotu w czasie dyżurowania;

Δt – pozostały czas do dyżurowania.

Powyzszą zależność stosujemy wówczas, kiedy samolot myśliwski wykonuje przechwycenie z taką samą prędkością, jak **prędkość dyżurowania**. Natomiast w sytuacji, kiedy prędkość lotu samolotu myśliwskiego podczas przechwytywania celu powietrznego jest większa od prędkości w czasie dyżurowania w strefie oraz prędkość lotu po przechwyceniu celu powietrznego w locie powrotnym do strefy jest mniejsza od prędkości lotu na przechwycenie ($V_1 \neq V_{dyz}$, $V_2 \neq V_{dyz}$ i $V_2 \neq V_1$), to odległość, na jaką możemy wprowadzić samolot myśliwski do walki ze strefy dyżurowania oblicza się według zależności:

$$D_{maks.} = \frac{Vt \cdot \Delta t}{2} \cdot \frac{2C_K}{C_{K1} + C_{K2}} \quad (3.38.)$$

gdzie:

C_K – kilometrowe zużycie paliwa podczas dyżurowania;

C_{K1} – kilometrowe zużycie paliwa w locie na przechwycenie;

C_{K2} – kilometrowe zużycie paliwa w locie powrotnym.

Określanie przestrzennych możliwości wykonania zadań osłony obiektów przez LM podczas działań autonomicznych

Na współczesnym polu walki mogą zaistnieć sytuacje, kiedy LM nie będzie miało możliwości wykonania zadania osłony obiektów z dyżurowania na lotniskach lub w powietrzu (np. system wykrywania i dowodzenia został obezwładniony radioelektronicznie). W takich wymuszonych sytuacjach jednym z rozwiązań może być realizowanie zadania sposobem działań autonomicznych, bez otrzymywania z Ziemi informacji o celach powietrznych lub otrzymywania tylko fragmentarycznych, niepełnych informacji, bez komend naprowadzania, a często nawet bez łączności radiowej z Ziemią.

Szczególnie trudne do przechwycenia będą środki napadu powietrznego lecące na bardzo małych i małych wysokościach, ponieważ mogą one nie zostać wykryte przez radiolokacyjny system wykrywania. Ponadto odległość wykrycia może być mała i nie zapewni możliwości wprowadzenia myśliwców, dyżurujących na lotniskach lub w powietrzu, do walki na potrzebnej rubieży, a więc nie stworzy warunków niezbędnych do niszczenia celu przed jego wyjściem na rubież wykonania zadania. Należy się również liczyć z systematycznym stosowaniem przez przeciwnika różnych (głównie radioelektronicznych), zakłóceń systemu wykrywania, powiadamiania, naprowadzania i dowodzenia, co może poważnie utrudniać, a nawet uniemożliwiać przechwytywanie z dyżurowania na lotniskach i w powietrzu.

Ponadto może zaistnieć konieczność osłony przedniego skraju własnych wojsk, względnie desantu powietrznego lub morskiego. Może to zmusić do wystania samolotów osłony nad teren przeciwnika, poza zasięg własnego radiolokacyjnego pola wykrywania.

Przechwytywanie ŚNP podczas działań autonomicznych (sposobem patrolowania) może być zawczasu przewidziane w warunkach, kiedy z oceny sytuacji taktyczno-operacyjnej wynika, że nie ma możliwości osłony danego obiektu z dyżurowania na lotniskach i w powietrzu.

Istota przechwytywania z patrolowania polega na tym, że załogi samolotów myśliwskich przeszukują przestrzeń powietrzną w wyznaczonej strefie patrolowania wzrokowo i przy pomocy pokładowych kompleksów celowniczo-nawigacyjnych, wykrywają i rozpoznają ŚNP, podejmują decyzję o rodzaju manewru dla

zaatakowania celu, wykonują ten manewr a następnie atakują i niszczą cel. Podstawowym zatem zadaniem pilotów myśliwskich jest w tym wypadku uważna i stała obserwacja przestrzeni powietrznej, co nie zwalnia ich oczywiście z obowiązku radiowego nasłuchu ewentualnych informacji i komend z Ziemi.

Ponieważ w warunkach nasilonej walki radioelektronicznej odległości wykrycia ŚNP przez pokładowe środki rozpoznania mogą ulec znacznemu zmniejszeniu, zarówno rzeczywista rubież wprowadzenia do walki jak i rubież przechwycenia będą przesunięte w stosunku do rubieży patrolowania w głąb osłanianego terenu. Żeby więc wykonać zadania osłony na PRWW, trzeba rubież patrolowania LM wysunąć przed tę rubież w kierunku, z którego spodziewamy się nalotu ŚNP.

W wypadku wzrokowego wykrywania ŚNP lub za pomocą radiolokatorów impulsowych, trasa lotu patrolujących myśliwców winna być prostopadła do kierunku spodziewanego nalotu ŚNP. Wynika to z potrzeby zapewnienia największego prawdopodobieństwa wykrycia ŚNP (można wykazać, że jest ono największe dla takiej właśnie różnicy kursów samolotów wykrywających i obiektów wykrywanych).

W sytuacji, kiedy trasa celu jest prostopadła do kierunku lotu patrolujących myśliwców i kiedy myśliwce wykonują zakręt o 90^0 dla wyjścia w tylną półsferę celu, odległość możliwej rubieży wprowadzenia do walki od rubieży patrolowania możemy, obliczyć na podstawie zależności:

$$S_{MRWW} = R + S_{rp} + \frac{V_c(t_{man} + t_{rp}) - (\pm D_c) - R - S_{rp} - d}{V_m - V_c} V_m; \quad (3.39)$$

Dzieląc licznik i mianownik przez V_m otrzymamy :

$$S_{MRWW} = R + S_{rp} + \frac{V_c(t_{man} + t_{rp}) - (\pm D_c) - R - S_{rp} - d}{1 - n} \quad (3.40.)$$

gdzie :

R -promień zakrętu myśliwca;

S_{rp} -droga zwiększania prędkości przez myśliwca po zakończeniu manewru dla wyjścia w tylną półsferę celu ;

t_{rp} -czas zwiększania prędkości przez myśliwce po zakończeniu manewru dla wyjścia w tylną półsferę celu ;

$\pm D_c$ - odległość od punktu przecięcia trasy celu z rubieżą patrolowania myśliwców, w momencie rozpoczęcia przez myśliwce manewru dla wyjścia w tylną półsferę celu. Jeżeli w momencie rozpoczęcia manewru przez myśliwca cel nie przeleciał rubieży patrolowania, to odległość do celu ma znak plus, jeżeli przeleciał - znak minus.

Odległość zaś od rubieży patrolowania do rubieży zniszczenia ŚNP obliczamy korzystając z zależności:

$$D_{RZ} = R + S_{rp} + \frac{V_c(t_{man} + t_{rp}) - (\pm D_c) - R - S_{rp} - d}{1 - n} + \frac{d - d_{rk}}{1 - n} + d_{rk} + V_c t_{rk} \quad (3.41.)$$

czyli:

$$D_{RZ} = R + S_{rp} + \frac{V_c(t_{man} + t_{rp}) - (\pm D_c) - R - S_{rp} - d_{rk}}{1 - n} + d_{rk} + V_c t_{rk} ; \quad (3.42.)$$

Aby samolot myśliwski po wykonaniu manewru wyszedł w tylną półsferę w pożądanej odległości „d” za celem powinien być spełniony następujący warunek:

$$\pm D_c \geq V_c(t_{man} + t_{rp}) - (-R - S_{rp} - d) ; \quad (3.43.)$$

W przypadku, kiedy powyższa nierówność będzie równaniem nie ma potrzeby zwiększania prędkości po wyjściu myśliwca w tylną półsferę celu. Przy założeniu, że cel zachowuje stałe warunki lotu, po zakończeniu manewru myśliwiec znajdzie się za celem w odległości „d”, czyli na rubieży wprowadzenia do walki ($S_{MRWW} = R$).

Minimalną potrzebną odległość wykrycia celu można określić na podstawie zależności:

$$d_{wykr\ min} = d_{rk\ min} + V_{zbl} (t_{man} + t_{cel}) \quad (3.44.)$$

gdzie:

$d_{wykr\ min}$ - minimalna odległość wykrycia ;

$d_{rk\ min}$ - minimalna odległość odpalenia rakiety ;

V_{zbl} - prędkość zbliżania ;

t_{man} - czas manewrowania ;

t_{cel} - czas celowania ;

Minimalną potrzebną odległość użycia uzbrojenia raketowego można określić na podstawie równania:

$$d_{rk\ min} = D_{r\ min} + V_{zbl} t_{rk\ min} \quad (3.45.)$$

gdzie :

$D_{r\ min}$ - minimalna odległość lotu rakiety ;

$t_{rk\ min}$ - minimalny czas lotu rakiety . Przy czym czas ten opisuje poniższa zależność:

$$t_{rk\ min} = t_z + t_{pr} \quad (3.46)$$

gdzie:

t_z - czas zejścia rakiety z wyrzutni i odblokowania zapalnika;

t_{pr} - czas pracy silnika rakiety.

Pierwszy sposób patrolowania, to znaczy kiedy trasa lotu celów jest prostopadła do patrolujących samolotów myśliwskich, jest wskazany w wypadku, gdy samolot myśliwski posiada uzbrojenie zezwalające na atakowanie celów z tylnej półsfery.

Drugi sposób może być stosowany tylko wtedy, kiedy samoloty myśliwskie będą wyposażone w uzbrojenie zezwalające na atakowanie celów z przedniej półsfery. Jest to sposób najbardziej perspektywiczny i ma tę zasadniczą zaletę, że wprowadzenie do walki następuje w czasie o wiele krótszym niż w wypadku atakowania w tylną półsferę celu. Zmniejsza to wymagania w stosunku do położenia PRWW. Może być ona położona głębiej (bliżej obiektu), tak więc i rubież patrolowania może być położona znacznie bliżej niż podczas przechwytywania celów na kursach zgodnych i zgodnie przecinających się. Należy jednak podkreślić, że możliwości takie posiadają w zasadzie samoloty IV generacji.

4. WSKAŹNIKI CZASOWYCH MOŻLIWOŚCI BOJOWYCH

4.1. Definicje podstawowych wskaźników i ich interpretacja

Wskaźniki czasowych możliwości bojowych charakteryzują dynamikę działań bojowych lotnictwa myśliwskiego oraz organizację dowodzenia samolotami myśliwskimi. Ich wartości określają potrzeby czasowe na wykonanie poszczególnych elementów zadań bojowych w konkretnej sytuacji operacyjno-taktycznej.

Do podstawowych wskaźników możliwości czasowych zalicza się:

- wskaźniki określające możliwości dyżurowania LM w powietrzu:
 - ◇ długotrwałość dyżurowania pojedynczego samolotu (grupy) w powietrzu w nakazanej strefie dyżurowania;
 - ◇ potrzebna liczba samolotów do ciągłego utrzymywania określonych sił w powietrzu w nakazanych strefach i czasie;
 - ◇ czas ciągłego (długotrwałość) utrzymywania określonych sił w powietrzu w nakazanej strefie dyżurowania;
- normy czasowe charakteryzujące gotowość bojową takie jak:
 - ◇ czasy startu z określonych stopni gotowości bojowej;
 - ◇ czasy ciągłego utrzymywania załóg w określonych stopniach gotowości bojowej;
- czas krytyczny;
- czas wprowadzenia samolotów myśliwskich do walki;
- czas prowadzenia walki powietrznej;
- czas zniszczenia celu powietrznego;
- czasy odtwarzania gotowości bojowej (przez pary, klucze, eskadry samolotów);
- natężenie działań bojowych.

Długotrwałość dyżurowania w powietrzu pojedynczego samolotu (grupy) w nakazanej strefie dyżurowania zależy od składu grupy i typu samolotów, wariantu uzbrojenia i ilości zabieranego paliwa; odległości strefy dyżurowania od lotnisk startu i lądowania warunków dolotu do strefy dyżurowania i powrotu na lotnisko (prędkość, wysokość lotu), rezerwy paliwa na walkę powietrzną, start, formowanie i rozformowywanie ugrupowań bojowych i lądowanie, a także od warunków atmosferycznych.

Obliczenia tego wskaźnika należy wykonywać zgodnie z instrukcjami obliczenia zasięgu i długotrwałości lotu dla danego typu statku powietrznego. Algorytmy obliczeń inżyniersko-nawigacyjnych, zawarte w omawianych instrukcjach różnią się zazwyczaj w szczegółach prowadzenia obliczeń, stąd posługiwanie się właściwymi instrukcjami zmniejsza prawdopodobieństwo popełnienia błędu. Do oceny wartości omawianego wskaźnika często wykorzystuje się specjalne wykresy i nomogramy, a także programy komputerowe.

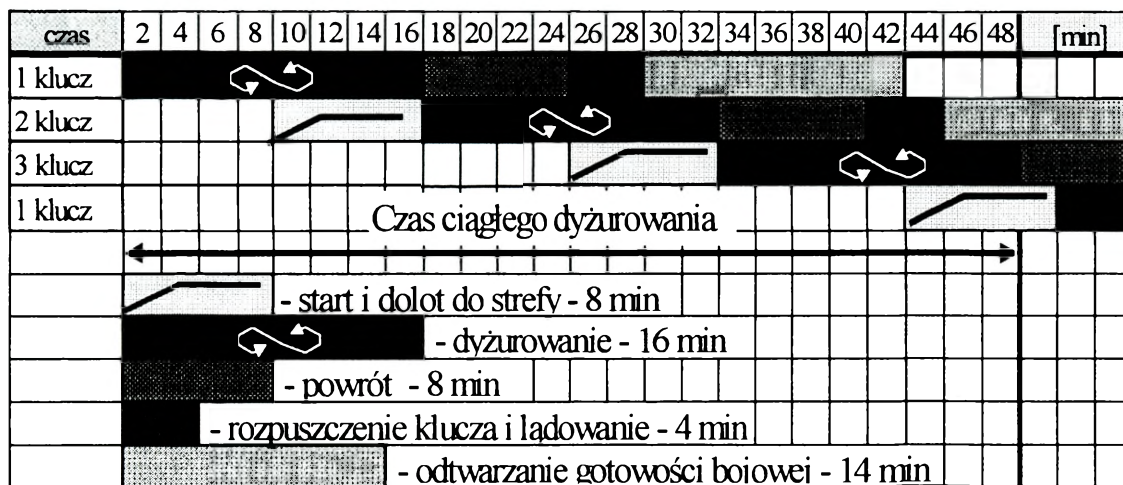
Długotrwałość dyżurowania w powietrzu pojedynczego samolotu (grupy) stanowi podstawę do wyliczania pozostałych wskaźników określających możliwości LM dyżurowania w powietrzu.

Jeżeli istnieje potrzeba ciągłego utrzymywania określonych sił LM w wyznaczonej strefie dyżurowania przez pewien ustalony okres czasu, powstaje problem zaangażowania pewnej liczby samolotów myśliwskich do tego zadania. Jest to potrzebna liczba samolotów do ciągłego utrzymywania określonych sił w powietrzu.

Często dysponujemy ograniczoną liczbą samolotów myśliwskich i istnieje potrzeba utrzymywania pewnej części tych sił w powietrzu, w wyznaczonej strefie dyżurowania, w celu realizacji zadań osłony nakazanych obiektów lub kierunków. Dla określenia czasu nieprzerwanej realizacji tego zadania posługujemy się czasem ciągłego utrzymywania określonych sił w powietrzu w nakazanej strefie dyżurowania.

Obliczanie wartości obu wyżej wymienionych wskaźników wymaga uwzględnienia długotrwałości dyżurowania grupy samolotów w wyznaczonej strefie, a także przebiegu odtwarzania gotowości bojowej przez samoloty (zdolności do lotu przez załogi). W praktyce zadania te rozwiązuje się poprzez sporządzanie planowej tabeli lotu (wykres Gantha) z uwzględnieniem modelu odtwarzania gotowości bojowej przez

lądujące statki powietrzne. Przykład wariantu rozliczenia czasowego utrzymywania klucza samolotów w określonej strefie dyżurowania, przy wykorzystaniu trzech kluczy do realizacji tego zadania, przedstawia rys.4.1.



Rys. 4.1. Przykład rozliczenia czasu potrzebnego na utrzymywanie klucza samolotów w strefie przez siły eskadry (12 samolotów)

Z analizy treści przedstawionego przykładu wynika, że dla przyjętych założeń skrócenie np. czasu odtwarzania gotowości pierwszego klucza tylko o dwie minuty może zapewnić możliwość ciągłego dyżurowania kluczem samolotów w danej strefie, przy zaangażowaniu trzech kluczy samolotów do tego zadania.

Sposób określania możliwości dyżurowania przy pomocy analogicznych materiałów (tabel, wykresów), jak w wypadku prezentowanego wyżej przykładu, nie tylko ułatwia ich ocenę, ale również upraszcza analizę wpływu poszczególnych czynników na ostateczną wartość określanego wskaźnika. Pozwala to określać, które z czynników wpływających na omawiane możliwości stanowią tzw. „wąskie gardła”.

Pomocne w prowadzeniu obliczeń wartości omawianych wskaźników mogą być programy komputerowe²¹ (patrz załącznik 7).

Normy czasowe charakteryzujące gotowość bojową określone są w zależności od typu samolotów, warunków bazowania i zabezpieczenia działań, pory roku i doby, wyszkolenia bojowego stanów osobowych. Ich wartości określone są doświadczalnie i wprowadzone odpowiednimi instrukcjami.

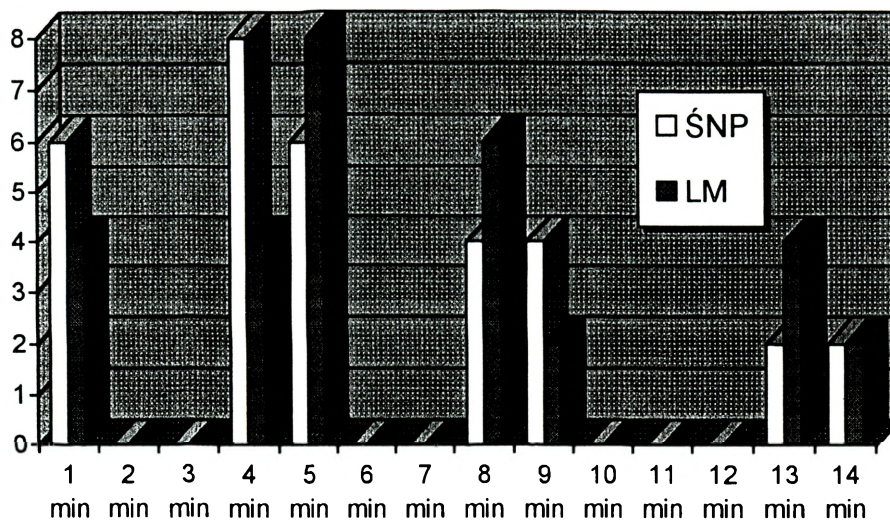
²¹ Dla samolotów MiG-21Bis i MiG-29 wykorzystywany jest program „STREFA” opracowany przez zespół autorski P.Makowski A.Grzelka.

Czas krytyczny jest to czas, jakim dysponuje lotnictwo myśliwskie na zniszczenie celu powietrznego przed wykonaniem przez niego zadania, liczony od momentu wykrycia ŚNP. Czas krytyczny powinien być większy lub co najmniej równy czasowi potrzebnemu na przechwycenie i zniszczenie celu przed jego dolotem do rubieży wykonania zadania (RWZ). Czas ten jest ściśle związany z położeniem PRWW i czasem potrzebnym na rozegranie walki powietrznej.

Czas wprowadzenia samolotów myśliwskich do walki określany jest od momentu wykrycia celu powietrznego do chwili wyjścia samolotów myśliwskich na nakazaną rubież wprowadzenia do walki. Pozwala on przewidywać czas i miejsce przechwycenia celu oraz ocenić możliwości wykonania osłony nakazanych obiektów. Czas ten zależy od charakterystyk lotno-taktycznych samolotów, odległości lotniska startu lub strefy dyżurowania od PRWW.

Znajomość tego wskaźnika jest pomocna w analizie przewidywanej sytuacji powietrznej w rejonie nakazanych (potrzebnych) rubieży wprowadzenia do walki LM. Analizę taką wygodnie jest prowadzić dokonując porównania stosunku sił, czyli spodziewanej liczby ŚNP i liczby samolotów myśliwskich, jakie możemy wprowadzić do walki na PRWW, np. w kolejnych minutach działań bojowych. Dysponując modelem najbardziej prawdopodobnego nalotu ŚNP i znając czas wprowadzenia do walki kolejnych grup samolotów myśliwskich na określonej PRWW, można wykonać wykres, którego ideę przedstawiono na rysunku 4.2., pozwalający określić stosunki sił przeciwnika powietrznego i LM²² na PRWW np. dla każdej minuty spodziewanego nalotu.

²² Lub lotnictwa wykonującego zadania defensywne w ramach obrony powietrznej.



Rys.4.2. Graficzne przedstawienie stosunku sił LM i ŚNP na PRWW, w kolejnych minutach nalotu

Przedstawiony wyżej przykład graficznego zobrazowania stosunku sił na PRWW może służyć jako materiał pomocniczy do kalkulacji związanych z oceną skuteczności ogniowej w przyjętym wariantcie działań. Może także ułatwiać planowanie walk powietrznych.

Czas prowadzenia walki powietrznej samolotów myśliwskich ze środkami napadu powietrznego to czas od momentu wprowadzenia ich do walki do chwili zakończenia strzelania (rozpoczęcia manewru wyprowadzenia z walki). W przypadku działania grupy samolotów myśliwskich - jest to czas od momentu wykrycia celu przez prowadzącego grupę do chwili zakończenia strzelania przez ostatniego pilota grupy. Jeżeli grupa wykonuje atak jednocześnie, to czas walki powietrznej określany jest jak dla pojedynczego samolotu.

Czas zniszczenia celu powietrznego to czas od momentu jego wykrycia do chwili zakończenia walki powietrznej przez grupę samolotów myśliwskich wydzieloną do zniszczenia tego celu. Jest to wskaźnik pozwalający ocenić możliwości zniszczenia celu powietrznego przed jego dołotem do RWZ.

Czasy odtwarzania gotowości bojowej (pary, klucza, eskadry samolotów) zależą od typu samolotu, zakresu prac jaki należy wykonać (a w tym czy potrzebna jest zmiana wariantu uzbrojenia), infrastruktury technicznej lotnisk, możliwości i stopnia

wyszkolenia służby inżynieryjno-lotniczej, stanu i rozmieszczenia środków materiałowo-technicznych, a także od warunków atmosferycznych i pory doby.

Nateżenie działań bojowych to ilość wylotów bojowych przypadająca na załogę (eskadrę, pułk) w określonym czasie działań. Określa je zwykle przełożony w zależności od charakteru zadania bojowego i warunków jego wykonania, liczby samolotów przygotowanych do prowadzenia działań, warunków bazowania oraz zabezpieczenia działań bojowych, a także możliwości przygotowania techniki lotniczej do lotów bojowych i pozostałych elementów zabezpieczenia logistycznego.

Przy uwzględnieniu możliwości psychofizycznych personelu latającego i zachowaniu zdolności bojowej załóg, w zależności od typu samolotów może być zaplanowane maksymalne obciążenie pilota na dobę działań: - w pierwszych 2-3 dniach działań - 3-5 wylotów; - w pierwszych 10 dniach działań - 2-4 wyloty; - w czasie miesiąca działań - 2-3 wyloty; - przy lotach nocnych - 2-3 wyloty.

4.2. Uprozczone metody obliczania wartości wybranych wskaźników możliwości czasowych

W czasie działań bojowych deficyt czasu uniemożliwia wykonywanie skomplikowanych obliczeń. Ponadto nie wszystkie zadania związane z określaniem czasowych wskaźników możliwości bojowych zostały zaimplementowane w oprogramowaniu wspomagającym dowodzenie współczesnych zautomatyzowanych systemów dowodzenia (np. „Bodziszek”). Stąd poznanie pewnych uproszczonych metod obliczania przynajmniej podstawowych wskaźników możliwości czasowych wydaje się potrzebne.

Metoda graficzna określania długotrwałości dyżurowania pojedynczego samolotu (grupy) w powietrzu w nakazanej strefie dyżurowania

Aby skrócić okres wykonywania obliczeń czasu dyżurowania samolotów myśliwskich w strefie sporządza się komplet wykresów, z których odczytuje się wartości tych czasów, w zależności od jej oddalania od lotniska, składu grupy, wysokości lotu i rodzaju podwieszeń. Wykresy takie opracowuje się stosując następujący algorytm:

- na osi poziomej odkłada się odległość od strefy ($D_{str.}$) oraz taktyczny promień działania (R_T):

- na osi pionowej zaś czas dyżurowania.

Czas dyżurowania – t_{dyz} oraz taktyczny promień działania – R_T oblicza się na podstawie instrukcji zasięgu i długotrwałości lotu danego typu samolotu. Omawiane instrukcje dopuszczają jednak różne stopnie swobody jeśli chodzi o dokładność kalkulacji. Dla przykładu decyzja o tym, czy uwzględniać wpływ zmiany masy samolotu w czasie lotu na jednostkowe zużycie paliwa, czy i w jaki sposób uwzględnić manewry w strefie dyżurowania, należy do wykonawcy. Doświadczenie i wiedza taktyczna, a także cel kalkulacji dyktować powinny racjonalne rozwiązania w tym zakresie. Dla szybkiej oceny wartości tych wskaźników można wykorzystać zależności:

$$t_{dyz} = \frac{Q_{dyz}}{C_h \circ K_t}; \quad (4.1.)$$

$$R_T = 0.5 \circ \left(\frac{Q_{Lp}}{C_h \circ K_t} \circ V_r + S_{wzn.} + S_{zn.} \right); \quad (4.2.)$$

$$Q_{Lp} = Q_{dyz} = K [K(Q_c - Q_z - Q_m) - Q_{st.i.wzn.} - Q_{wp} - Q_{zn.} - Q_{lqd.}]; \quad (4.3.)$$

Gdzie:

R_T – taktyczny promień działania;

Q_{Lp} – zapas paliwa dla lotu poziomego;

C_h – godzinowe zużycie paliwa;

K_t – współczynnik temperatury otaczającego powietrza. Przy temperaturze otaczającego powietrza wyżej od standardowej $K_t = 1 + P_t$, natomiast przy temperaturze otaczającego powietrza niżej od standardowej $K_t = 1 - P_t$, gdzie: P – procentowy współczynnik temperatury np. dla temperatury różniacej się o 10°C od standardowej $P_t = 0,1$;

t_{dyz} – czas dyżurowania;

Q_{dyz} – zapas paliwa dla dyżurowania w strefie;

K – współczynnik dla grupy, dla klucza $K = 0,97$; $P = 0,03$ (3%),

dla eskadry $K = 0,93$; $P = 0,07$ (7%);

k – współczynnik nawigacyjnego zapasu paliwa $k = 0,9$; $P = 0,1$ (10%);

Q_C – całkowita pojemność zabieranego paliwa;

Q_m – zapas paliwa „martwy”, który pozostaje w instalacji paliwowej;

Q_z – zapas paliwa potrzebny podczas pracy silników na ziemi (zapuszczenie, próba, kołowanie);

$Q_{st.i.wzn.}$ – zapas paliwa na start i wznoszenie;

$Q_{wp.}$ - zapas paliwa na walkę powietrzną;

Q_{zn} – zapas paliwa na zniżanie;

$Q_{ład}$ – zapas paliwa potrzebna do lądowania.

Dla przypadku, kiedy droga wznoszenia ($S_{wzn.}$) jest mniejsza od drogi zniżania (S_{zn}), do wykresu oblicza się punkty A,B,C:

- punkt A ma współrzędne ($S_{wzn.}, t_{dyż.1}$), gdzie: $S_{wzn.}$ odczytuje się z tabeli, a czas dyżurowania ($t_{dyż.1}$) oblicza się przy założeniu, że zużycie paliwa w czasie lotu do strefy i w drodze powrotnej równa się zero.

$$t_{dyż.1} = \frac{Q_{dyż} + Q_{zn}}{C_h}, \text{ przy } Q_{str.} = 0 \quad (4.4.)$$

- punkt B ma współrzędne (S_{zn} i $t_{dyż.2}$), gdzie S_{zn} odczytuje się z tabel, a czas dyżurowania ($t_{dyż.2}$) oblicza się według wzoru;

$$t_{dyż.2} = \frac{Q_{dyż}}{C_h}, \text{ przy } Q_{str.} = 0 \quad (4.5.)$$

- punkt C ma współrzędne ($S_{maks} = R_T, t_{dyż.3} = 0$), gdzie uzyskuje się maksymalną odległość strefy od lotniska równą taktycznemu promieniowi działania, przy założeniu, że czas dyżurowania równa się zero.

$$S_{maks.} = R_T = S_{zn.} + \frac{Q_{dyż.}}{2C_k}, \text{ przy } Q_{str.} = 0. \quad (4.6.)$$

Dla przypadku, kiedy droga wznoszenia jest większa od drogi zniżania, nie oblicza się punktu A, lecz punkty B i C oblicza się następująco:

- punkt B ma współrzędne ($S_{wzn.}, t_{dyż.2}$), gdzie $S_{wzn.}$ odczytuje się z tabel, a czas dyżurowania $t_{dyż.2}$ oblicza się przy założeniu $Q_{str.} = 0$

- punkt C ma współrzędne ($S_{maks.}=R_T$, $t_{dyz.3} = 0$), gdzie uzyskuje się maksymalną odległość strefy od lotniska (równiej R_T) przy założeniu $t_{dyz.}=0$; $Q_{str.}=0$.

$$S_{maks.}=R_T=\frac{Q_{dyz}}{2 \cdot C_K} + \frac{S_{wzn.} + S_{zn.}}{2}. \quad (4.7.)$$

W obu przypadkach zapas paliwa na dyżurowania oblicza się według wzoru;

$$Q_{dyz} = Q_{Lp} - Q_{str.}; \quad (4.8.)$$

Gdzie:

$Q_{str.}$ - zapas paliwa na lot do strefy i drodze powrotnej;

C_k – kilometrowe zużycie paliwa (kg/km);

$$Q_{str} = [(D_{str} - S_{wzn}) + (D_{str} - S_{zn})] \cdot C_K.$$

Wykresy z zasady sporządza się wykonując obliczenia dla temperatury standardowej dla kilku wariantów uzbrojenia i napełnienia instalacji paliwowej danego typu samolotu myśliwskiego i różnych wysokości dyżurowania. Czas dyżurowania odczytuje się w sposób przedstawiony na rysunku 4.3.

Uproszczona metoda określania potrzebnej liczby samolotów do dyżurowania w strefie w ciągu nakazanego czasu

Podczas wykonywania zadania osłony wojsk i obiektów może zaistnieć konieczność obliczenia ile potrzeba wykorzystać samolotolotów, aby zapewnić ciągle dyżurowanie określonej liczby samolotów myśliwskich w pewnym okresie czasu w nakazanej strefie dyżurowania. W pierwszym przybliżeniu przyjmuje się, że szacunkowa liczba samolotów potrzebnych do wykonania takiego zadania będzie równa liczbie samolotolotów. W takiej sytuacji ilość samolotolotów do wykonania dyżurowania możemy obliczyć korzystając z zależności:

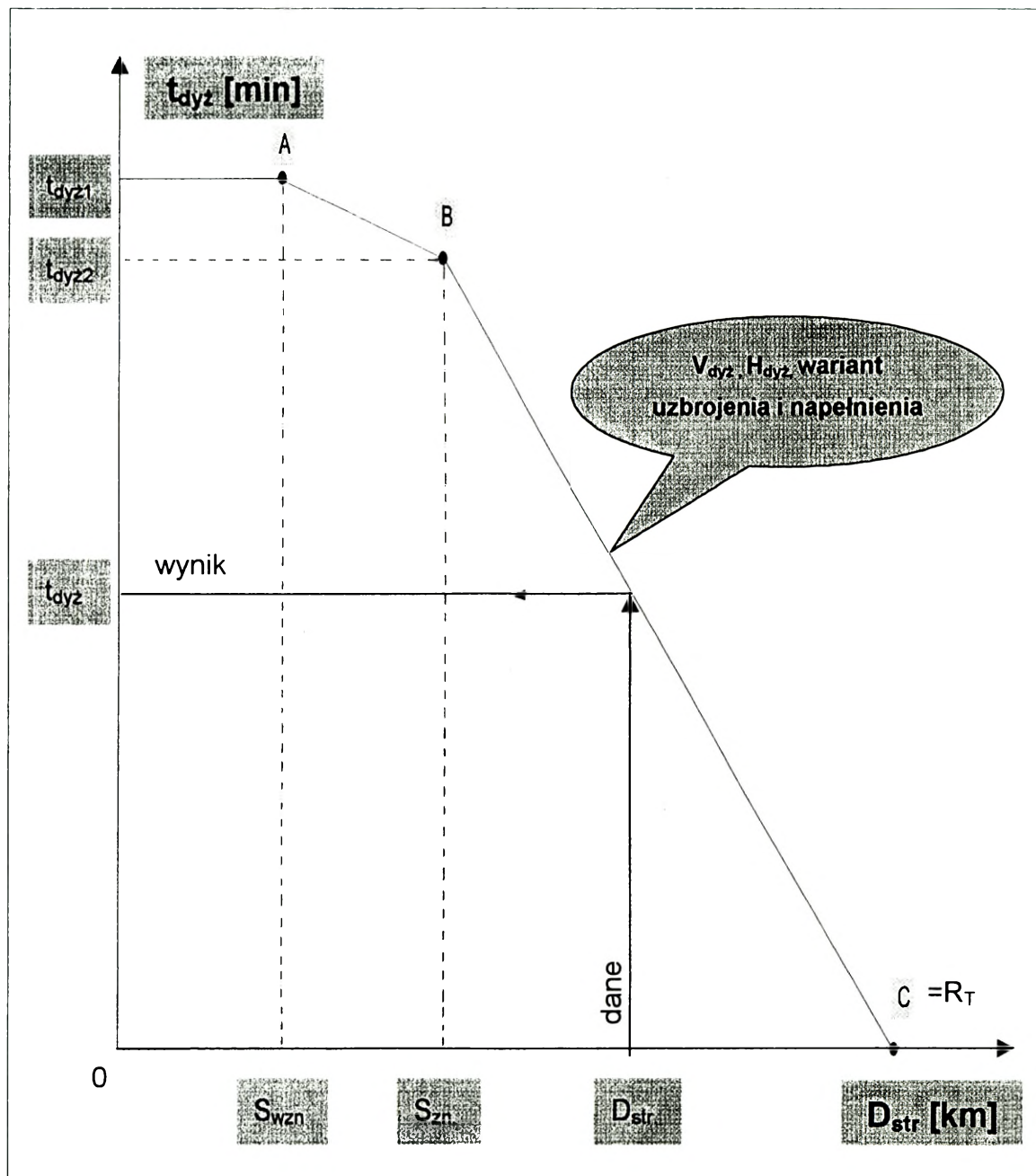
$$N_s = \frac{t_{nak.dyz.} \cdot n}{t_{dyz.} \cdot K}; \quad (4.9.)$$

gdzie:

N_s – potrzebna liczba samolotolotów do dyżurowania w strefie;

$t_{nak.dyz.}$ – nakazany okres dyżurowania w strefie;

$t_{dyz.}$ – czas dyżurowania w strefie pojedynczego myśliwca lub grupy;



4.3. Wykres czasu dyżurowania w strefie

n – liczba samolotów dyżurujących jednocześnie w strefie (skład dyżurującej grupy);

K – współczynnik zmianowości samolotów lub grup w strefie, $K=0,8$.

Współczynnik K skraca czas dyżurowania, również na skutek wyprowadzenia niektórych grup myśliwców ze strefy dla przechwycenia ŚNP przed upływem możliwego czasu dyżurowania.

Mając wydzieloną ilość samolotów dla przechwytywania ŚNP z dyżurowania w powietrzu możemy obliczyć możliwą długość dyżurowania (w powietrzu w danej strefie na danej wysokości) przez określoną grupę samolotów, wykorzystując zależność:

$$t_{mozl\ dyz} = \frac{N_S \circ t_{d\dot{z}} \circ K}{n}; \quad (4.10)$$

W wypadku, kiedy mamy wydzieloną ilość samolotów do dyżurowania w nakazanej strefie przez nakazany czas – obliczamy potrzebny czas dyżurowania każdej grupy dyżurującej na podstawie zależności

$$t_{d\dot{z}\ potrz} = \frac{t_{nak.d\dot{z}} \circ n}{N_S \circ K}; \quad (4.11.)$$

Po obliczeniu $t_{d\dot{z}\ potrz}$ dla danej grupy myśliwców, na podstawie wykresów znajdujemy najbardziej dogodną wysokość i prędkość dyżurowania, uwzględniając obowiązkowo sytuację taktyczną.

W sytuacjach, kiedy istnieje potrzeba zdecydowania o składzie grup dyżurujących w strefie poza taktycznymi uwarunkowaniami, jednym z argumentów przemawiających za przyjęciem określonej liczby może być rezultat kalkulacji przeprowadzonej według poniższej zależności:

$$n_{maks.} = \frac{N_S \circ t_{d\dot{z}} \circ K}{t_{nak.d\dot{z}}}; \quad (4.12.)$$

Przykład 4.1.

Obliczyć, ile potrzeba samolotów do wykonania zadania osłony wojsk w okresie od godz. 5.00 do godz. 7.00 zakładając ciągłe dyżurowanie w składzie klucza samolotów myśliwskich. Wiadomo jest, że klucz może przebywać w strefie 30 min.

Rozwiązanie:

$$N_s = \frac{t_{nak\ dyz} \circ n}{t_{dyz} \circ K} = \frac{120\text{min} \circ 4}{30\text{min.} \circ 0.8} = 20$$

Wniosek:

Ażeby zapewnić ciągłe dyżurowanie w strefie klucza sasie od godz. 5.00 do 7.00 potrzeba jest wykonać 20 samolotolotów.

Zakończenie

Autorzy mają nadzieję, że niniejszy materiał dydaktyczny okaże się pomocny studentom Wydziału WLiOP w rozwiązywaniu problemów taktycznych związanych z planowaniem użycia lotnictwa w działaniach defensywnych. Zawarte w nim definicje podstawowych wskaźników możliwości bojowych lotnictwa podczas realizacji zadań w systemie obrony powietrznej stanowią ogólną teorię, a przytoczone metody ich obliczania są aktualnie znanymi postaciami formalnego zapisu tych definicji. Oznacza to, że definicje mają charakter kategorii względnie trwałych, zaś omawiane metody obliczeniowe w miarę postępu wiedzy matematycznej, zwłaszcza modelowania procesów walki, mogą ulegać rozwojowi. Celem tego rozwoju będzie zapewne opracowanie takich metod i algorytmów obliczeniowych, których wykorzystywanie pozwoli uzyskać większą rzetelność kalkulacji operacyjno-taktycznych. Ważną przesłanką stymulującą do takich właśnie przewidywań jest niewątpliwie permanentny rozwój narzędzi informatycznych.

Bibliografia

- 1 MAKOWSKI P. „Wymagania informacyjne zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych plm OPK” ASG, 1988.
- 2 „Metodyka opracowywania planów zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych lotnictwa myśliwskiego i wojsk raketowych wojsk opk przez batalion radiotechniczny” DW OPK, 1982.
- 3 NIEDZIELA J. „Rubieże nawigacyjno-taktyczne i sposoby ich wyznaczania” WOSL, Dęblin 197.
- 4 „Metodyka obliczeń inżynieryjno-nawigacyjnych lotu oraz zestaw wykresów dla samolotów bojowych. Lot.1928/79 Poznań 1980.
- 5 MAKOWSKI P. GRZELKA A. „Opracowanie metod, algorytmów i procedur programowych obliczeń inżynieryjno-nawigacyjnych lotu dla samolotu Su-22M4” WAT 1994.
- 6 Pawlak T. „Metody określania możliwości przechwytywania celów powietrznych przez samoloty myśliwskie” ASG, 1988;
- 7 „SAMOLOT MiG-29 i MiG-29UB Z SILNIKAMI RD-33, Instrukcja obliczania zasięgu i długotrwałości lotu”. WLOP 79/91, Poznań 1992;
- 8 „SAMOLOT Su22M4 Z SILNIKIEM AŁ-21F3, Instrukcja obliczania zasięgu i długotrwałości lotu”, WLOP 83/92, POZNAŃ 1992.

Załączniki

1. Podstawowe dane taktyczno-techniczne samolotów myśliwskich III generacji;
2. Podstawowe dane taktyczno-techniczne rakiet kl. będących na wyposażeniu współczesnych samolotów;
3. Dane taktyczno-techniczne rakiet powietrze-powietrze n generacji;
4. Możliwości wykrywania i rażenia ŚNP współczesnych snyśliwskich dla dużych skutecznych powierzchni odbicia celu (15m^2);
5. Opis programu PRIR;
6. Opis programu STREFA.

ZAŁĄCZNIK 1

Podstawowe dane taktyczno-techniczne samolotów myśliwskich III generacji.⁶⁰

TABELA 1.

Państwo	Typ samolotu	Typ i zasięg stacji 7/lok	Stosunek ciągu do masy	Przeciąż. max.	Prędkość wznoszenia max. [m/s]	Prędkość max. [km/h]	Środki WRe	Ilość podwieszeń	Uzbrojenie	Załoga
U.S.A	F-14 Tomcat	AN/AWG-9 260 km	-	8	300	2500	AN/ALQ-126 AN/ALQ-165	10	AIM-7 AIM-9 AIM-120, AIM-54	2
	F-15C Eagle	AN/APG-63 200 km	1,4	9	310	2600	AN/ALQ-127 AN/ALQ-131 AN/ALQ-135	9	AIM-7 AIM-9 AIM-120	1
	F-16C Falcon	AN/APG-66 75 km	1,2	9	300	2100	AN/ALQ-131 AN/ALQ-119 RAPORT	11	AIM-7 AIM-9 AIM-120	1
	F/A-18C Hornet	AN/APG-65 60 km	1,1	8	230	1900	AN/ALQ-126B AN/ALQ-165	11	AIM-7 AIM-9 AIM-120	1
ROSLA	MiG-29 Fulcrum	Rubin-29 70 km	1,2	9	320	2500	GARDENIA	6	R-27 R-60 R-73	1
	MiG-31 Foxhound	Zaslon ZBI-16 320 km	ok. 0,8	5	?	3000	?	8	R-33, R-37 R-40, R-77 R-60, R-73	2
FRANCJA	Mirage 2000	Thomson RDI 130 km	1,1	9	280	2300	?	9	Matra Super 530 Magic 550 Mica	1

⁶⁰ „Informator o armiach obcych i rozpoznaniu” OPK 984/84, Warszawa 1985;

„Lotnictwo taktyczne państw NATO”, Szt. Gen. 1342/88, Warszawa 1989;

„Lotnicze środki walki radioelektronicznej państw NATO”, Szt. Gen. 1252/86, Warszawa 1986

„Przeгляд Konstrukcji Lotniczych”, 1/93

Technika Lotnicza i Astronautyczna 6/75 str. 7.

ZAŁĄCZNIK 2

Podstawowe dane techniczne rakiet klasy powietrze-powietrze będących na wyposażeniu współczesnych samolotów¹

TABELA 2


Typ Rakiety	Rodzaj kierowania	Zasięg		Wysokość odpalenia		Masa		Wymiary	
		min. (km)	max. (km)	min. (km)	max. (km)	ociśku (kg)	głowicy bojowej (kg)	dług. (cm)	kal. (cm)
Active SKY FLASH	aktywne radiolokacyjne	0,5	50	<0,1	16	208	30	366	20,3
ASPIDE Mk.2	aktywne radiolokacyjne i bierne prom. elektromagn.	0,6	100	0,1	30	230	35	365	21,2
AIM-7M Sparrow	półaktywne radiolokacyjne	0,6	100	0,1	24,5	230	39	366	20,3
AIM-9L Sidewinder	bierne na podczerwień	0,6	17,7	0	24,5	85,3	10,2	285	12,7
AIM-120 AMRAAM	aktywne radiolokacyjne i bierne prom. elektromagn.	0,3	100	0,02	30	152,4	20,4	365	18
AIM-132 ASRAM	termowizyjne	0,3	15	?	?	87	10	310	19
AIM-54 C Phoenix	aktywne radiolokacyjne	3,8	200	0,02	30,5	457,8	59,9	400	38,1
Super 530 D	półaktywne radiolokacyjne	?	60	0,08	24,5	265	30	375	26,3
R.550 MAGIC 2	bierne na podczerwień	0,5	15	0	24,5	90	12,5	275	15,7
R-27 EA AA-10 ALAMO	aktywne radiolokacyjne	0,5	130	0	?	350	39	478	26
R-27 R AA-10 ALAMO	półaktywne radiolokacyjne	0,5	60	0	27	235	39	480	23

Air International", October 1993 str. 197-211

„Katalog sprzętu lotniczego państw NATO”, Sztab Generalny 1187/84

Typ Rakiety	Rodzaj kierowania	Zasięg		Wysokość odpalenia		Masa		Wymiary	
		min (km)	max. (km)	min (km)	max. (km)	postrzasku (kg)	głowicy bojowej (kg)	długość (cm)	kal. (cm)
R-33 AA-9 AMOS	półaktywne radiolokacyjne	?	150	?	?	490	47	415	38
R-23 R AA-7 APEX	półaktywne radiolokacyjne	1,8	20	0,05	25	235	30	450	20
R-60 MK AA-8 APHID	biernie na podczerwień	0,2	12	0,03	20	65	6	208	13
R-73 E AA-11 ARCHER	biernie na podczerwień	0,3	30	0	26	110	7,4	290	17
R-13M	biernie na podczerwień	0,6	8	0	24	90	11,3	290	12,7
R-3s	biernie na podczerwień	0,9	7,6	0,3	18	75	7,3	280	17
RS-2us	półaktywne radiolokacyjne	1,6	7	0,7	25	83	13	250	20

TABELA 3

<i>Typ Rakiety</i>	<i>Wymiary kątowe strefy możliwych ataków ϕ [°]</i> 	<i>Średnie prawdopodobieństwo rażenia</i>	<i>Maksymalna prędkość rakiety w [m/s]</i>
Active SKY FLASH	180	0.9	1350
ASPIDE Mk.2	180	0.9	1360
AIM-7M Sparrow	180	0.75	1400
AIM-9L Sidewinder	165	0.9	900
AIM-120 AMRAAM	180	0.9	1400
AIM-132 ASRAM	180	0.9	1200
AIM-54 C Phoenix	180	0.85	2000
Super 530 D	180	0.7	1400
R.550 MAGIC 2	170	0.9	600
R-27 EA AA-10 ALAMO	180	0.9	1000
R-27 R AA-10 ALAMO	180	0.85	1000
R-33 AA-9 AMOS	180	0.9	1100
R-23 R AA-7 APEX	180	0.9	800
R-60 MK AA-8 APHID	180	0.9	700
R-73 E AA-11 ARCHER	180	0.9	1000
R-13M	170	0.8	900
R-3s	45	0.8	700
RS-2üs	15	0.7	700

ZAŁĄCZNIK 3

Średnie skuteczne powierzchnie odbicia wybranych samolotów myśliwskich
pokładowych stacji radiolokacyjnych

TELA 4

<i>Typ samolotu</i>	<i>Średnia skuteczna powierzchnia odbicia [m²]</i>
FB-111	7
F-4	6
MIG-21	4
F-15C	3
MIG-29M	3
Rafale	2
F-16C	1,7
B-2	0,1
F-22	0,1
F-117A	0,025

ZAŁĄCZNIK 4

Dane techniczne raket powietrze-powietrze najnowszej generacji¹

TABELA 5

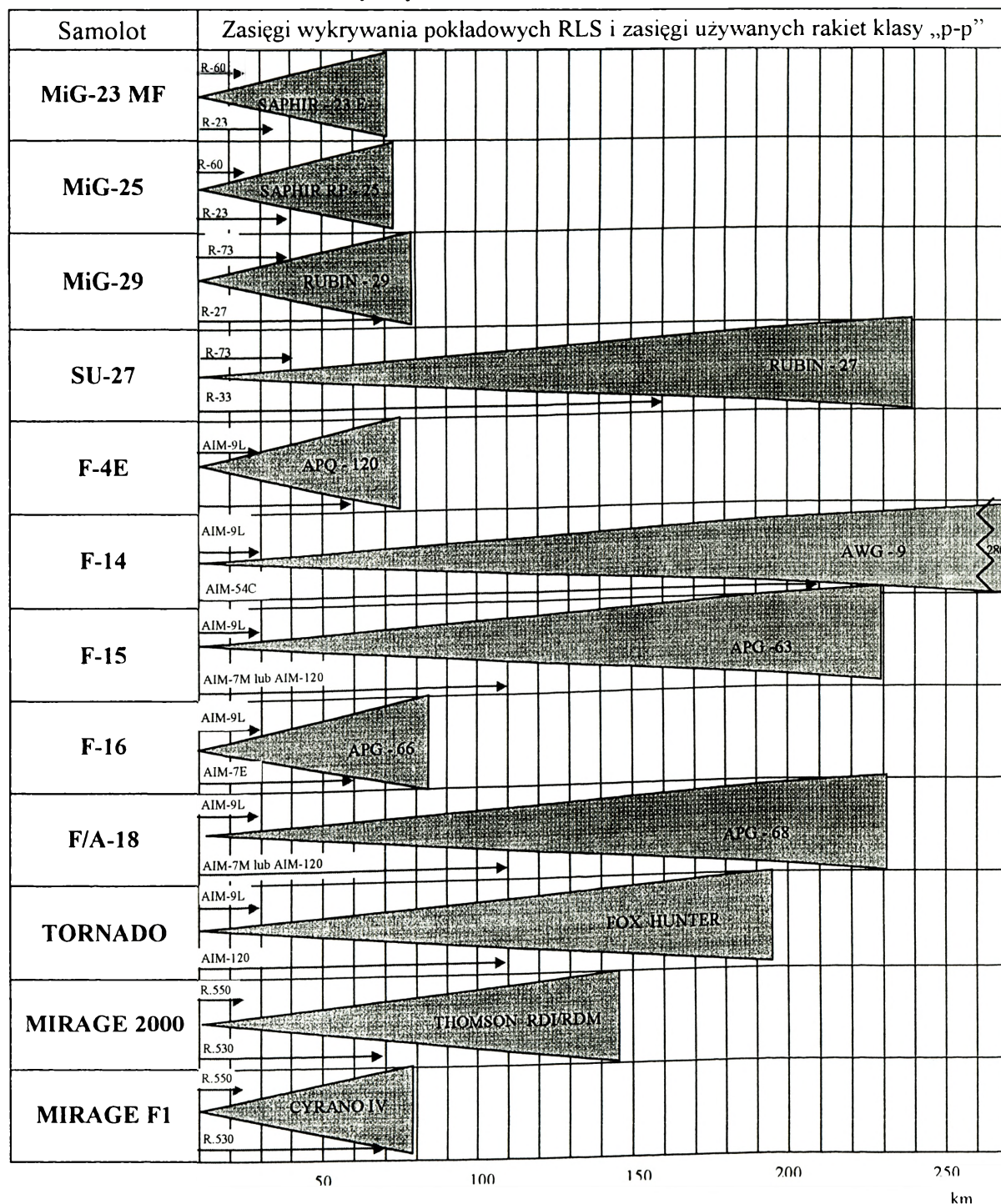
<i>Państwo</i>	<i>Typ rakiety</i>	<i>Układ naprowadzania</i>	<i>Zasięg</i>	<i>Długość</i>	<i>Masa</i>	<i>Uwagi</i>
			[km]	[m]	[kg]	
FRANCJA	MICA	radiolokacyjny aktywny	0,3 - 55	3,1	110	
	MICA	na podczerwień	0,3 - 55	3,1	110	
U.S.A.	AIM-120 AMRAAM	radiolokacyjny aktywny	0,3 - 100	3,6	152	
	AAAM	radiolokacyjny aktywny	0,3-ok. 150	3,6	175/295	Równolegle realizowane są dwa projekty
W. BRYT.	AIM-132 ASRAAM	na podczerwień	0,6 - 15	2,5	85	
ROSJA	R-77 (AA-12)	radiolokacyjny aktywny	? - 90	3,6	175	
	R-37	radiolokacyjny aktywny	? - 150	?	600	
	KS-172	radiolokacyjny aktywny	? - 400	7,4	750	
	R-27EA	radiolokacyjny aktywny	0,5 - 130	4,8	350	

¹ „Air International”, October 1993 str. 197-211

„Przegląd Konstrukcji Lotniczych”, 3/93, str. 19-21.

ZAŁĄCZNIK 5

Możliwości wykrywania i rażenia ŚNP współczesnych samolotów myśliwskich ¹ dla dużych skutecznych powierzchni odbicia celu (15m²)



¹ Na podstawie informacji zawartych w:

1. Gunston B., Spick M., *Współczesne samoloty bojowe, Espadon, Warszawa 1993*
2. *Lotnictwo taktyczne państw NATO. Zasady użycia i prowadzenia walki, MON, Warszawa 1989*
3. *Vademecum o armiach obcych (dla personelu latającego), MON, Warszawa 1988*

Załącznik 6

Opis programu PRIR

Określanie potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej

Radiolokacyjne zabezpieczenie działań aktywnych środków walki, działających w systemie obrony powietrznej, przez wojska radiotechniczne jest jednym z zasadniczych zadań tych wojsk na szczeblu taktycznym. O ile w odniesieniu do wojsk raketowych OP zabezpieczenie to polega na takim kształtowaniu strefy informacji radiolokacyjnej o sytuacji powietrznej i zobrazowywaniu jej na stanowiskach dowodzenia, by jak najlepiej wykorzystać możliwości ogniowe zestawów raketowych w konkretnym ugrupowaniu bojowym. To realizacja omawianego zadania dla lotnictwa myśliwskiego (LM) pociąga za sobą dodatkowo konieczność zaopatrzenia w informację, potrzebną do dowodzenia samolotami myśliwskimi w powietrzu. Informacja ta, zobrazowywana na punktach naprowadzania (PN), cechuje się szczególnymi wymaganiami, takimi jak: dokładność, rozróżnialność, skład informacji, wiarygodność, ciągłość, dyskretność, parametry przestrzenne (wymiary strefy informacji radiolokacyjnej - SIR).

Omawiane wymagania, w ogólnym przypadku, zależą od wielu zmiennych uwarunkowań określonych sytuacją taktyczną i warunkami działań. Poświęcono im wiele uwagi w wojskowym piśmiennictwie naukowym, ale nie wszystkie problemy związane z ich określaniem zostały rozwiązane. Dotyczy to zwłaszcza wymagań przestrzennych. Problemy te tkwią w sferze merytorycznej oraz stosowanej obecnie praktyce określania wymagań przestrzennych dla informacji radiolokacyjnej, wykorzystywanej do zabezpieczenia działań bojowych LM.

Potrzebną rubież informacji radiolokacyjnej do zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych LM, definiuje się zazwyczaj jako granicę strefy informacji radiolokacyjnej, która umożliwia samolotom myśliwskim wykonanie zadań na nakazanych rubieżach wprowadzenia do walki (NRWW).

Z definicji potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej wynikają bezpośrednio następujące konsekwencje:

- minimalizacja i równość bilansów czasów celu i samolotów myśliwskich (czas liczony od momentu wykrycia celu na PRIR do momentu wprowadzenia do walki samolotów myśliwskich na NRWW);
- zakładana trajektoria lotu na przechwycenie danego typu samolotu myśliwskiego powinna być zgodna z dopuszczalnymi reżimami lotu;
- wariant uzbrojenia i zakładane warunki wejścia do walki powinny zapewniać możliwość rażenia celów powietrznych.

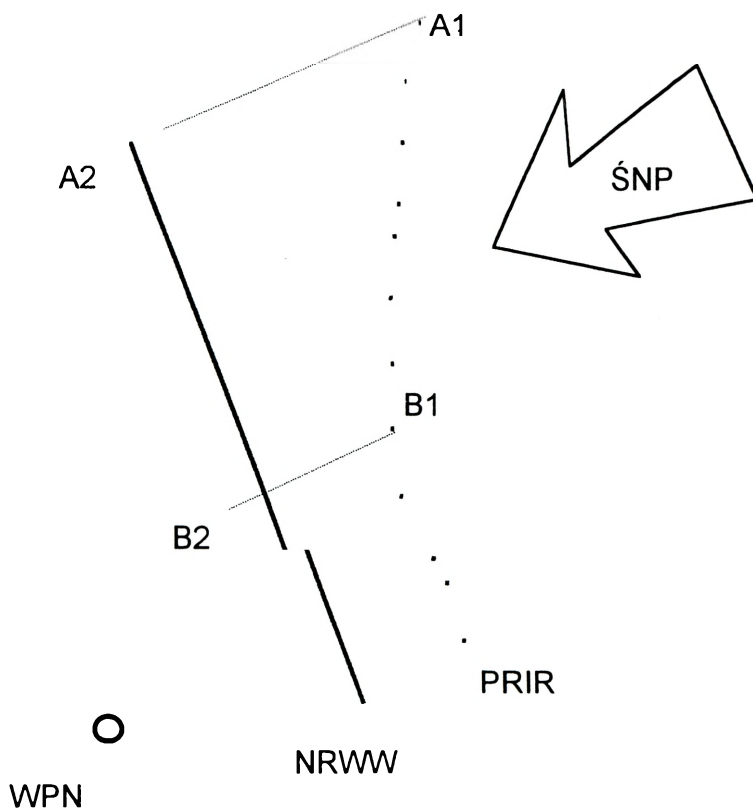
Powyższe stwierdzenia określają niejako obszary czynników, od których zależne jest położenie PRIR. Zasadnicze z nich dają się uwzględniać w modelach matematycznych procesu naprowadzania, niezbędnych do tworzenia algorytmów obliczania położenia PRIR.

Jak wykazują analizy, zasadniczymi czynnikami determinującymi położenie PRIR są:

- położenie nakazanych rubieży wprowadzenia do walki względem wyjściowych punktów naprowadzania (WPN) i kierunku nalotu;
- przewidywane warunki lotu zwalczanych środków napadu powietrznego (ŚNP);
- początkowe warunki lotu samolotów myśliwskich w momencie rozpoczęcia naprowadzania (na WPN);
- typ samolotów myśliwskich i ich charakterystyki lotno-taktyczne;
- przewidywane warunki wejścia do walki samolotów myśliwskich, wynikające z wariantu uzbrojenia samolotów przechwytyjących i wyszkolenia pilotów (półsfera ataku, prędkość zbliżania, kąt spotkania z celem - rakurs, odległość wyprowadzenia w tylną lub przednią półsferę celu);
- warunki atmosferyczne;
- opóźnienie informacji radiolokacyjnej.

Wyjściowy punkt naprowadzania to początkowy punkt trajektorii lotu na przechwycenie (położenie myśliwca w momencie rozpoczęcia procesu naprowadzania).

Położenie nakazanych rubieży wprowadzenia do walki względem WPN i kierunku nalotu ŚNP przeciwnika jest czynnikiem wynikającym z koncepcji wykorzystania LM w systemie OP (w danej sytuacji operacyjno-taktycznej). NRWW podawane są zazwyczaj w treści typowych zadań bojowych dla plm i po wrysowaniu na mapę przedstawiają odcinki pojedynczych linii prostych lub linie łamane. Z równości bilansu czasów ŚNP i myśliwca wynika, że im większa jest odległość danego punktu NRWW od WPN tym wcześniej potrzeba wykryć ŚNP. Ilustruje to rysunek 1.



Rys.1. Kształt potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej

Przechwycenie ŚNP zmierzających w kierunku punktu A2 NRWW (gdy NRWW dana jest w postaci linii prostej) wymaga wykrycia nalotu w punkcie A1, natomiast przechwycenie ŚNP w punkcie B2 wykrycia go odpowiednio w punkcie B1. Różnica w długości odcinków (A1 A2) i (B1 B2) spowodowana jest głównie tym, że dla znajdujących się na WPN samolotów myśliwskich, potrzeba odpowiednio więcej czasu by dotrzeć do punktu A2 NRWW, niż do punktu B2. Zbiór punktów z indeksem 1 odpowiadających dla danego kierunku nalotu odpowiednim punktom NRWW jest niczym innym jak PRIR.

Wynika stąd, że kalkulacji co do położenia PRIR należy dokonywać wielokrotnie dla danego kierunku nalotu i danej NRWW, tak aby w miarę dokładnie oddać charakter krzywej jaką jest zwykle omawiana rubież.

Powyższy wniosek jest jedną z przesłanek przesądzających o potrzebie stosowania techniki komputerowej wspomagającej omawiane kalkulacje.

Czynnikiem determinującym położenie PRIR jest również kierunek nalotu, a ściślej mówiąc jego kurs w stosunku do NRWW. Ponieważ dla danego położenia WPN i NRWW o możliwości przechwycenia w dowolnym punkcie NRWW decyduje czas dolotu ŚNP w rejon NRWW. Stąd im trasa dolotu ŚNP do NRWW będzie bardziej zbliżona do prostopadłej względem NRWW, tym odpowiadająca jej PRIR będzie dalej położona od NRWW. Dlatego też podczas planowania działań bojowych należy przede wszystkim rozpatrywać najtrudniejsze dla obrony powietrznej warianty działań przeciwnika powietrznego, a więc brać pod uwagę najbardziej niekorzystne kursy nalotu, dla których trasy nalotu są prostopadłe do NRWW.

Przewidywane warunki lotu zwalczanych środków napadu powietrznego są dość istotnymi czynnikami determinującymi położenie PRIR.

Prędkość lotu ŚNP decyduje bezpośrednio o czasie dolotu do NRWW od momentu jego wykrycia. Dla typowych czasów reakcji systemu OP podczas przechwytywania ŚNP przez LM z dyżurowania w powietrzu w strefach położonych na NRWW, wzrost prędkości ŚNP o 120km/h (przy prędkościach poddźwiękowych) może spowodować zwiększenie wymagań co do potrzebnego zasięgu informacji radiolokacyjnej szacunkowo o około 5km i więcej. Dla prędkości naddźwiękowych lotu ŚNP omawiane wymagania mogą, w pewnych warunkach, wzrosnąć znacznie (nawet do

kilkudziesięciu kilometrów), w wypadku konieczności rozpędzania samolotów myśliwskich do prędkości naddźwiękowych. Podczas stosowania przez LM przechwytywania ŚNP z dyżurowania na lotniskach wpływ prędkości ŚNP na położenie PRIR jest największy. W bilansie czasu myśliwców należy więc uwzględniać czas i drogę rozpędzania.

Wysokość lotu ŚNP decyduje pośrednio o wysokości ataku, a ta z kolei ma wpływ na ogólny bilans czasu myśliwca, w którym trzeba uwzględniać czas i drogę wznoszenia lub czas i drogę zniżania.

Ewentualne manewry ŚNP kursem i wysokością lotu utrudniają wprawdzie walkę z nimi, zmniejszając skuteczność ogniomą aktywnych środków OP, ale przedłużają czas przebywania w strefie informacji radiolokacyjnej. W związku z tym wydłuża się czas dysponowany na reakcję systemu OP co w aspekcie wymagań stawianych podsystemowi zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych LM jest korzystne.

Dlatego też zakładanie braku tego typu manewrów ze strony ŚNP, podczas określania położenia PRIR jest uzasadnione i wskazane zgodnie z zasadą rozważania najtrudniejszych, dla systemu OP, wariantów działań przeciwnika powietrznego.

Początkowe warunki lotu samolotów myśliwskich w momencie rozpoczęcia naprowadzania (na WPN), podobnie jak parametry lotu ŚNP, wpływają bezpośrednio na trajektorie lotu samolotów myśliwskich na przechwycenie.

Prędkość początkowa na WPN determinuje ewentualną potrzebę rozpędzania samolotów przechwytyjących.

Ewentualne odcinki wznoszenia lub zniżania zależą między innymi do początkowej wysokości nad WPN.

Początkowy kurs samolotów myśliwskich nad WPN ma znaczący wpływ na sumaryczny czas ich manewrów. Czas ten ma istotne znaczenie w ogólnym bilansie czasu samolotów przechwytyjących. W skrajnie niekorzystnych przypadkach, gdy zachodzi konieczność wykonania przez myśliwce pierwszego manewru na kurs odejścia z WPN o 180 stopni, czas ten może być rzędu 1 minuty (w zależności od prędkości i kąta przechylenia w manewrze). Powoduje to konieczność

wcześniejszego wykrycia celu. Na przykład, dla celu lecącego z prędkością 900km/h wykrycie powinno nastąpić o około 15km wcześniej).

Typy samolotów myśliwskich i ich charakterystyki lotno-taktyczne określają własności trajektorii lotu na przechwycenie (tzw. profile lotu typowe dla danego myśliwca przechwytywanego), a także pozwalają sądzić o przestrzenno-czasowych warunkach realizacji tych trajektorii. Drogi i odpowiadające im czasy wznoszenia, zniżania, rozpędzania i hamowania zależą wprawdzie od wielu zmiennych uwarunkowań, ale istniejące instrukcje obliczania zasięgu i długotrwałości lotu dla danego typu statku powietrznego pozwalają je określać. Ponadto z typem samolotu przechwytywanego związane są pewne rozporządzone zakresy warunków lotu tzw. osiągi, które decydują również o możliwościach przestrzenno-czasowych jego bojowego wykorzystywania. Dla przykładu statek powietrzny, który może na danej wysokości rozwinąć większą prędkość wejdzie do walki w krótszym czasie, w związku z tym PRIR może (w tym wypadku) znajdować się bliżej NRWW, niż dla samolotu przechwytywanego o gorszych osiągnięciach prędkościowych.

Przewidywane warunki wejścia do walki samolotów myśliwskich wynikają z wariantu uzbrojenia samolotów przechwytywanych i wyszkolenia pilotów, a także z ogólnej sytuacji taktycznej zdeterminowanej szczególnie przez założenia dotyczące prawdopodobnego ugrupowania przeciwnika powietrznego.

W aspekcie prowadzenia kalkulacji zmierzających do oceny położenia PRIR istotnymi są: półsfera ataku, kąt spotkania z celem - "sylwetka" lub "rakurs", prędkość zbliżania, odległość wyprowadzenia w tylną lub przednią półsferę celu.

Podczas skutecznego ataku w przednią półsferę celu zostaje on z reguły zniszczony przed NRWW, a podczas ataku w tylną półsferę celu jego zniszczenie następuje po przelocie NRWW. Półsfera ataku ma więc znaczenie zasadnicze dla konstrukcji modelu matematycznego i algorytmu obliczeń PRIR, w którym należy rozpatrywać oba te przypadki.

Kąt spotkania z celem podobnie jak kurs początkowy na WPN wpływa na sumaryczny czas manewrów, które muszą wykonać samoloty myśliwskie by wejść do walki na NRWW. Rola tego czasu została omówiona wyżej.

Średnia prędkość zbliżania podczas pościgu decyduje o dynamice ataku i w konsekwencji w dużej mierze o jego powodzeniu. Wyznacza ponadto, istotną dla

rozważanego problemu obliczeniowego, prędkość końcową samolotów myśliwskich w momencie wejścia do walki. W wypadku zwalczania celów szybkich uzyskanie wystarczającej prędkości zbliżania może być problemem wynikającym z możliwości samolotów myśliwskich lub ograniczeń taktycznych (np. brak przestrzeni na realizację rozpędzania). Czas i droga potrzebna na rozpędzanie samolotów myśliwskich, jako element trajektorii lotu na przechwycenie, mają istotne znaczenie na położenie PRIR, podobnie jak drogi i czasy odcinków wznoszenia. Prowadzone analizy wykazały, że wpływ omawianego czynnika może powodować różnice w położeniu PRIR wartości rzędu kilku kilometrów, w wypadkach konieczności rozpędzania samolotów przechwytyjących do dużych prędkości końcowych (naddźwiękowych) i konieczności zachowania dużych prędkości zbliżania (rzędu 300km/h i więcej).

Warunki atmosferyczne, a zwłaszcza przewidywane kierunki i prędkości wiatru oraz rozkład temperatury powietrza na różnych wysokościach w rejonie działań bojowych, jak wykazały analizy charakterystyk lotno-taktycznych samolotów myśliwskich, mogą mieć znaczący wpływ na możliwości przestrzenne przechwytywania ŚNP.

Wpływ kierunku i siły wiatru na rzeczywistą prędkość podrózną jest od dawna rozpatrywany w teorii nawigacji lotniczej. Wiatr uwzględnia się tam jako wektor składowy determinujący prędkość podrózną. W pewnych ekstremalnych warunkach może on polepszać lub pogorszać możliwości przechwytywania ŚNP, wpływając na osiągi prędkościowe samolotów myśliwskich.

Temperatura otaczającego powietrza (ϑ) szczególnie, gdy występują wartości wyższe od temperatury standardowej na danej wysokości, zaczyna nabierać wagi poprzez wpływ na charakterystyki rozpędzania i wznoszenia.

Dla przykładu, analizując zależność parametrów wznoszenia i rozpędzania samolotów myśliwskich od temperatury otoczenia, łatwo wykazać, że różnice temperatur nawet rzędu 5°C istotnie wpływają w wielu przypadkach na wartości tych parametrów, a więc i na położenie PRIR. Rozpędzenie samolotu MiG-29 o masie 16 ton i współczynniku oporów czołowych ($WOC=280$) od prędkości 0.5Ma do prędkości 1.4Ma w locie prostoliniowym na wysokości 5000m, w warunkach atmosfery standardowej, wymaga zużycia około 850kg paliwa i odbywa się na drodze 35km w

czasie 100 sekund. Wzrost temperatury otoczenia ($\Delta\theta_{\text{otocz.}}$) tylko o 5°C powoduje zwiększenie zużycia paliwa podczas rozpędzania do 1250kg, jak również piędziesięcioprocentowy wzrost drogi i czasu rozpędzania.

Opóźnienie informacji radiolokacyjnej rozumiane jest tu jako czasowa różnica między pojawieniem się zobrazowania informacji opóźnionej, a zobrazowaniem informacji pierwotnej na wskaźniku obserwacji okrężnej (WOO) bezpośrednio sprzężonym ze stacją radiolokacyjną. Jednym z warunków zabezpieczenia radiolokacyjnego naprowadzania samolotów myśliwskich jest zapewnienie na punkcie naprowadzania informacji pierwotnej o parametrach takich, jak ze stacji zakresu centymetrowego i decymetrowego. W oparciu o taką informację można wykonywać naprowadzenia bezpośrednie. Wstępne czynności naprowadzania można wykonywać w oparciu o informacje niższej jakości, pochodzącą z innych źródeł np. informacje ze stacji zakresu metrowego lub informacje wtórną (opracowaną w zautomatyzowanych systemach dowodzenia - ZtSD). Niektórzy teoretycy dzielą te dwa rodzaje informacji, nazywając informację wykorzystywaną do naprowadzeń bezpośrednich jako „bojową”, a informację do realizacji czynności wstępnych jako „dowodzenia”.

Jeżeli założyc, że naprowadzanie wstępne zostanie przeprowadzone w oparciu o informację opóźnioną, o opóźnieniu - Δt , to nawigator w tej sytuacji powinien naprowadzać samoloty myśliwskie na cel, uwzględniając odpowiednią poprawkę. Sprowadza się to do realizacji naprowadzenia na „cel wyniesiony” w stosunku do celu zobrazowanego na WOO (opóźnionego w stosunku do rzeczywistości) o odległość równą drodze - S , jaką przebędzie cel o prędkości V za czas opóźnienia. Wyznaczyć to można z zależności: $S = V \cdot \Delta t$.

Minimum więc o taką odległość należałoby wcześniej wykryć ŚNP, w przypadku korzystania z informacji opóźnionej. Wynika to z faktu, że cel pojawi się na WOO z informacją pierwotną, służącego do naprowadzania bezpośredniego, wcześniej niż wynikałoby to ze zobrazowania ze źródeł z informacją opóźnioną.

Podstawowe wiadomości o programie

Określanie potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej do wprowadzania LM na NRWW zostało praktycznie umożliwiające poprzez realizację programu "PRIR" częściowo, ponieważ algorytm programu nie współpracuje w aktualnej wersji z pełną bazą danych, zawierających charakterystyki lotno-taktyczne samolotów myśliwskich (jak w przypadku programu "PLAN"). Poprzednie metody określania PRIR spełniały swoje zadania w przypadkach, gdy trasy lotu celów powietrznych przechodziły w pobliżu wyjściowego punktu naprowadzania (WPN). W wyniku działania programu użytkownik dla wprowadzonej sytuacji taktycznej (operacyjno-taktycznej) otrzymuje współrzędne dziesięciu punktów PRIR, które po przeniesieniu na mapę pozwalają określić charakter krzywizny rubieży i jej położenie.

Program można wykorzystywać do analizy możliwości LM w danym ugrupowaniu lub do modelowania ugrupowania bojowego systemu OP. Pomimo prototypowej wersji, omawiany program był i jest chętnie wykorzystywany w ramach ćwiczeń zarówno w Akademii Obrony Narodowej jak i w jednostkach liniowych SP RP.

Porównanie realnych zasięgów wykrywania (na przykład środków radiolokacyjnych) na poszczególnych wysokościach, z przebiegiem PRIR pozwala natychmiast ustalić minimalną wysokość nalotu (H_{\min}) właściwą dla danego punktu nakazanej rubieży wprowadzenia do walki który z uwagi na bilans czasu może być w tej sytuacji zwalczany.

Program może być użytkowany z wykorzystaniem komputerów IBM PC z kartą graficzną EGA lub SVGA. Uruchamia się go poprzez aktywizację zbioru prir.exe z dowolnego podkatalogu, w którym znajduje się ponadto zbiór ega.bgi. Pierwsze zobrazowanie na monitorze ekranowym przedstawia wianetę programu. Po naciśnięciu klawisza "SPACJA" pojawia się krótka informacja o przeznaczeniu programu i sposobie jego wykorzystywania.

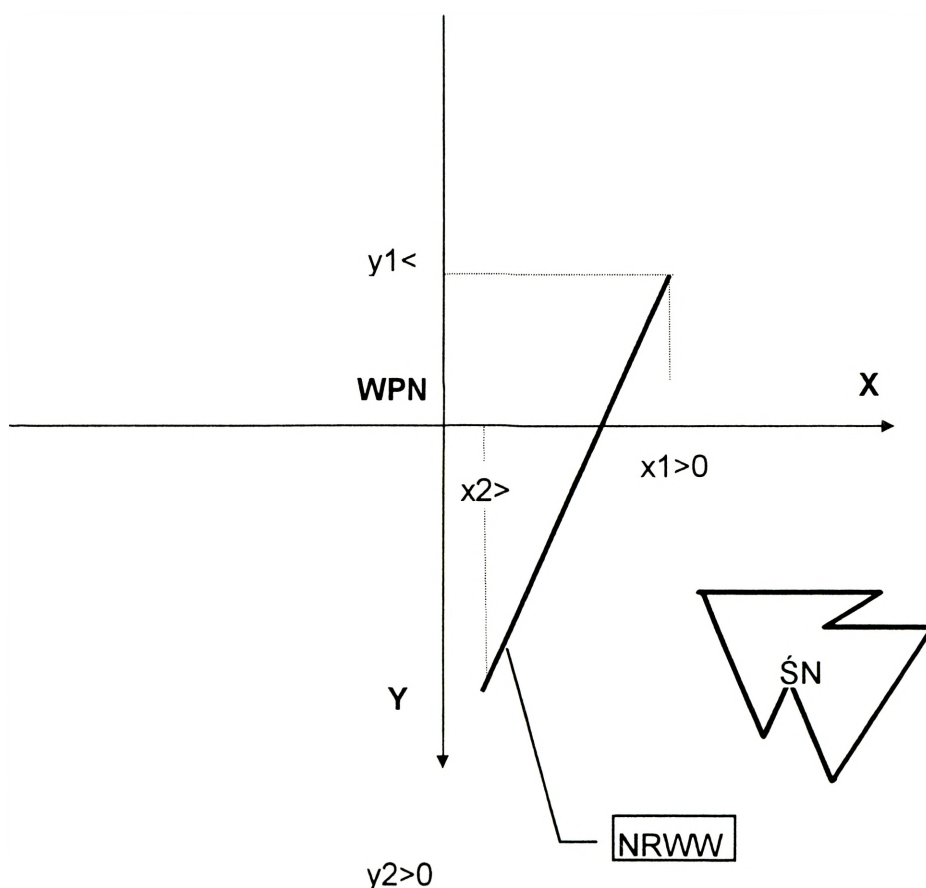
Kolejne zobrazowania przedstawione na monitorze ekranowym umożliwiają deklarację zmiennych wejściowych dotyczących przewidywanych warunków lotu celu i samolotów myśliwskich. Wprowadzanie wartości tych zmiennych odbywa się metodą interakcyjną. Pewnym ułatwieniem wprowadzania danych dotyczących paramerów naboru wysokości i rozpędzania samolotów myśliwskich jest „pomoc”

zawarta w programie (w postaci tabel wywoływanych po naciśnięciu przycisku „TAB”).

Wstępna deklaracja kierunku nalotu według kierunków geograficznych służy zorientowaniu prostokątnego układu współrzędnych, według którego określa się wzajemnie

W celu wprowadzenia danych, dotyczących położenia NRWW (x_1, y_1, x_2, y_2) użytkownik powinien wrysować na mapę prostokątny układ współrzędnych XOY (skierowany jak na ekranie monitora), **którego początek powinien pokrywać się z WPN** (lub ze środkiem strefy krótkotrwałego wyczekiwania -SKW).

Dla spodziewanego nalotu z kierunku południowo-wschodniego sposób wprowadzania danych dotyczących położenia NRWW, ilustruje rysunek 2.



Rys.2. Ilustracja polaryzacji osi układu współrzędnych podczas wyboru południowo-wschodniego kierunku nalotu

W tak przyjętym układzie odniesienia po odczytaniu współrzędnych NRWW z mapy i wprowadzeniu ich do komputera, użytkownik otrzymuje położenie PRIR (w postaci dziesięciu punktów o współrzędnych: x_i, y_i ; gdzie: $i \in \{1, 2, \dots, 10\}$).

Możliwość wprowadzania danych i pozyskiwania rezultatów przy użyciu digitizera i plotera na pewno uczyniłaby omawiany program doskonalszym. Ponadto potrzeba współpracy algorytmu z procedurami, stanowiącymi bazy danych możliwości lotno-taktycznych samolotów myśliwskich wyznacza przewidywany kierunek modernizacji programu. W aktualnej wersji program umożliwia dokonanie analizy możliwości LM. Na przykład, w danym ugrupowaniu korpusu OP na przeprowadzenie omawianej oceny potrzeba kilku minut, podczas gdy analogiczna ocena dotychczasowymi metodami wymaga **kilku godzin**.

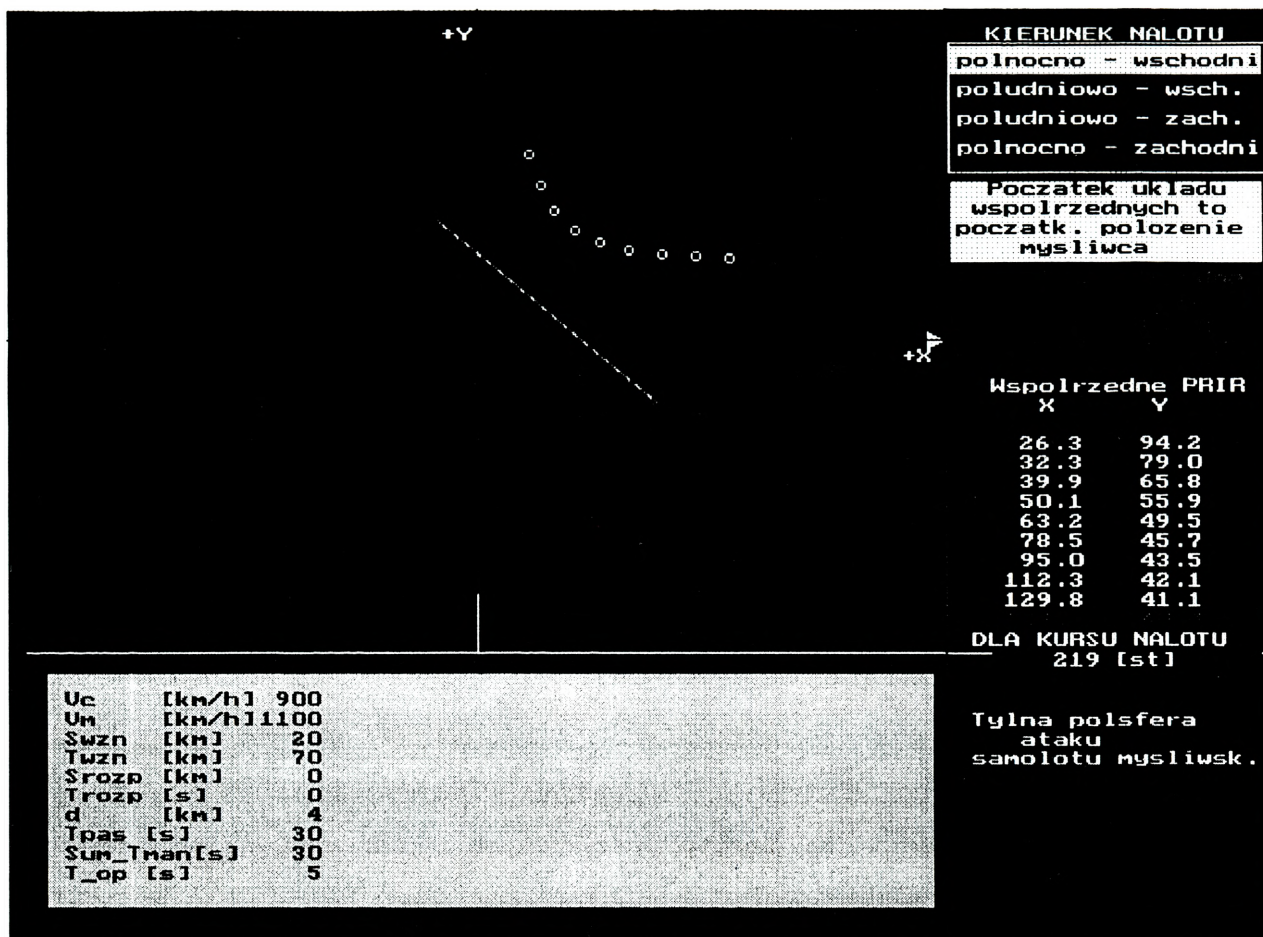
Dane wejściowe

W celu wykonania kalkulacji, przy użyciu omawianego programu należy wprowadzić następujące dane:

- V_c - prędkość celu [km/h] - prędkość rzeczywista (podróżna);
- V_m - prędkość samolotu myśliwskiego [km/h] - prędkość końcowa w momencie wejścia do walki samolotu myśliwskiego;
- S_{wzn} - droga wznoszenia (lub zniżania) [km];
- T_{wzn} - czas wznoszenia (lub zniżania) [sek.];
- S_{rozp} - droga rozpędzania (lub hamowania) od prędkości początkowej do końcowej [km];
- T_{rozp} - czas rozpędzania (lub hamowania) [sek.];
- d - planowana odległość wyprowadzenia samolotu myśliwskiego w tylną lub przednią półsferę celu w momencie wejścia do walki [km];
- T_{pas} - czas pasywny potrzebny na rozpoznanie celu po wykryciu, podjęcie decyzji o jego zwalczaniu, wydanie komend, ewentualny start z określonego stopnia gotowości bojowej [sek.];

- Sum-Tman - sumaryczny czas manewrów samolotu myśliwskiego;
- Top - czas opóźnienia informacji radiolokacyjnej o celu [sek], rozumiany jako czas opóźnienia informacji, za pomocą której dokonano wykrycia celu w stosunku do informacji radiolokacyjnej służącej do naprowadzania.
- półsfera ataku - przednia lub tylna półsfera atakowanego celu przez samolot myśliwski;
- kierunek nalotu (ze zbioru: północno-wschodni; południowo-wschodni; południowo-zachodni, północno-zachodni). Dla kierunku np. północnego można wybrać kierunek północno-wschodni lub północno-zachodni;
- współrzędne NRWW (x_1, y_1) i (x_2, y_2).

Wyniki kalkulacji są przedstawione w postaci listy współrzędnych dziesięciu punktów w przyjętym układzie odniesienia oraz zobrazowane graficznie na monitorze ekranowym. Ilustruje to wydruk przykładowej treści monitora ekranowego przedstawiony na rysunku 3



Rys.3. Przykład treści monitora ekranowego komputera podczas wykorzystywania programu PRIR

Załącznik 7

Opis programu STREFA

Podstawowe wiadomości o programie

Przeznaczeniem programu "STREFA" jest określanie możliwości dyżurowania w powietrzu w wyznaczonych strefach dyżurowania samolotów MiG-21Bis i MiG-29, z możliwością modelowania profilu dolotu i powrotu do strefy, jak i warunków dyżurowania w niej.

Menu programu zawiera trzy opcje:

1. określanie czasu dyżurowania pojedynczego samolotu (pary);
2. określanie możliwości ciągłego dyżurowania zadanej liczby samolotów;
3. określanie potrzebnej liczby samolotów do dyżurowania w zadanych warunkach.

Wynikiem działania opcji 1 jest czas dyżurowania pojedynczego samolotu (pary) podany w minutach, jeżeli w zadeklarowanych warunkach czas ten jest większy od 1min.

W wyniku zrealizowania opcji 2 użytkownik otrzymuje informacje o możliwości dyżurowania wyznaczonej do tego zadania liczby N samolotów kolejno, dla grup dyżurujących w strefie, w składzie od 1 do N samolotów. Czas podany w kolumnie drugiej informuje o długości przerwy jaka jest potrzebna do ponownego pojawienia się samolotów w strefie (z możliwością ciągłego dyżurowania podaną w kolumnie pierwszej). Jeżeli czas dyżurowania pojedynczego samolotu jest mniejszy od 1min. to użytkownik otrzymuje informacje o niemożliwości dyżurowania w wyznaczonej strefie.

Opcja 3 zapewnia podanie potrzebnej liczby samolotów jakie należy wydzielić do dyżurowania w zadanych warunkach, jeżeli czas dyżurowania pojedynczego samolotu jest większy od 1min. W przeciwnym wypadku użytkownik jest informowany o niemożliwości dyżurowania w wyznaczonej strefie.

Modelowanie lotu możliwe jest w ramach przyjętych założeń i ograniczeń. Założono że:

- zakres wysokości lotu będzie się zawierał w przedziale od 200m do 9000m;
- zakres deklarowanych średnich wysokości rejonu lotów będzie się zawierał w przedziale od 0 do 3000m n.p.m.;
- zakres prędkości lotu będzie się zawierał w przedziale od tzw. „prędkości maksymalnego zasięgu” do prędkości rzeczywistej (wyrażonej w km/h), odpowiadającej prędkości 0.90Ma na danej wysokości lotu;
- wysokość dolotu i powrotu nie powinna być mniejsza od wysokości dyżurowania;
- zakres uwzględnianych temperatur przez algorytm programu się w granicach $\pm 15^{\circ}\text{C}$ od temperatury standardowej (czyli od 0 do 30 $^{\circ}\text{C}$);
- maksymalna liczba samolotów dyżurująca w strefie w ugrupowaniu zwartym nie jest większa od klucza.

Ponadto przyjęto do kalkulacji w opcjach 2 i 3, czas startu i zajęcia gotowości nr.1 - 4 min. oraz warunki lądowania z rubieży (pojedynczo co 20 sekund z rozpuszczeniem do lądowania na trasie dolotu do lotniska lądowania).

Algorytm programu oparto na treściach pozycji: "SAMOLOT MiG-29 i MiG-29UB Z SILNIKAMI RD-33, Instrukcja obliczania zasięgu i długotrwałości lotu". WLOP 91, Poznań 1992

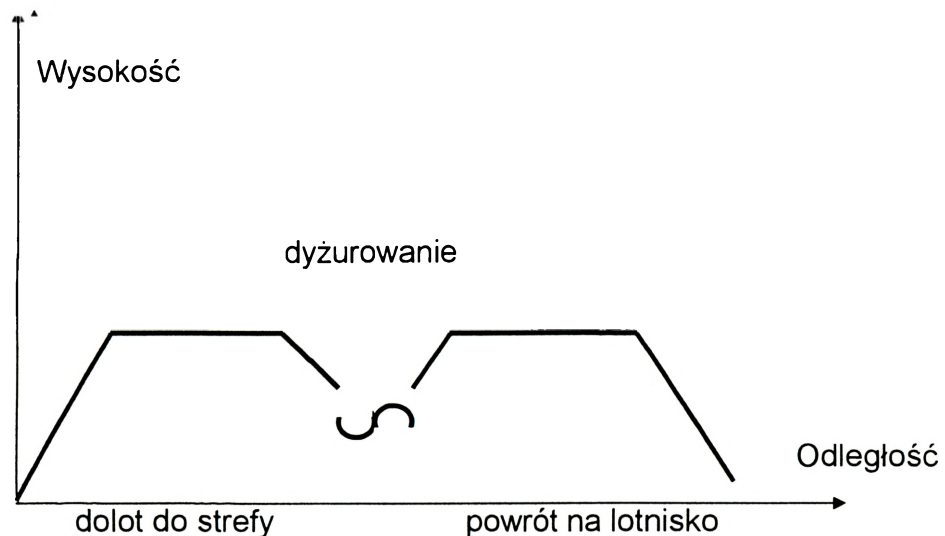
Program "STREFA" może być wykorzystywany przy użyciu komputerów IBM PC z kartą graficzną VGA lub sVGA. Program uruchamia się poprzez uaktywnienie zbioru strefa.exe

pod warunkiem dysponowania w podkatalogu zbiorem egavga.bgi

Wprowadzanie danych odbywa się metodą interakcyjną. Użytkownik powinien dostosować się do poleceń pojawiających się na monitorze ekranowym. Przekroczenie ograniczeń jest sygnalizowane.

W wypadku wykonywania kalkulacji dla lotu w ugrupowaniu o określonym składzie rezultaty kalkulacji odnoszą się do samolotu, którego warunki lotu wymagają największego zużycia paliwa spośród statków powietrznych wykonujących lot.

Ogólny profil lotu przyjęty w OPCJI-1 przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Ogólny profil lotu podczas dyżurowania

Dane wejściowe

Modelowanie elementów lotu rozpoczyna się od wyboru jednej z trzech opcji programu, a następnie wyboru typu samolotu myśliwskiego, wariantu ładunku bojowego oraz zadeklarowania danych wejściowych takich jak:

- gęstość paliwa (wybór za pomocą „bloku świetlnego”);
- czas pracy silników na ziemi (wybór za pomocą „bloku świetlnego”);
- średniej temperatury w rejonie lotów (przy Ziemi) [°C];
- średniej wysokości terenu n.p.m. w rejonie lotów [m];
- paliwa niezbędnego do prowadzenia planowanej walki powietrznej [kg];
- warunków dyżurowania w strefie (wysokość, prędkość - nakazana lub maksymalnego zasięgu);

- warunków dolotu do strefy (odległość, wysokość lotu i prędkość - nakazana lub maksymalnego zasięgu);
- warunków powrotu ze strefy (odległość, wysokość lotu i prędkość - nakazana lub maksymalnego zasięgu).

Ponadto w wypadku użytkowania opcji 2 dodatkowo należy zadeklarować dane dotyczące:

- podania ogólnej liczby samolotów wyznaczonych do dyżurowania;
- zatwierdzenia lub zmiany przyjętych czasów odtwarzania gotowości bojowej.

Dla opcji 3 dodatkowo należy dokonać:

- określenia składu dyżurującej grupy w strefie;
- podania nakazanego czasu dyżurowania ("dyżurowanie ciągłe" lub podanie czasu w minutach;
- zatwierdzenia lub zmiany przyjętych czasów odtwarzania gotowości bojowej.

„BLOK ŚWIETLNY” przesuwa się przy użyciu klawiatury - „strzałek”, a zatwierdzenie zadeklarowanej wartości następuje po naciśnięciu klawisza „ENTER”. Naciśnięcie klawisza „ENTER”, wprowadza do programu wybrane za pomocą klawiatury alfa-numerycznej wartości liczbowe, które można zmieniać przy użyciu klawiszy „DEL” lub „BACKSPACE” przed naciśnięciem klawisza „ENTER”.

Druk AON nr 714/WW

