

Grey Scale #13



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



14

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

**JAWNE
POUPNE**

Egz. Nr 4

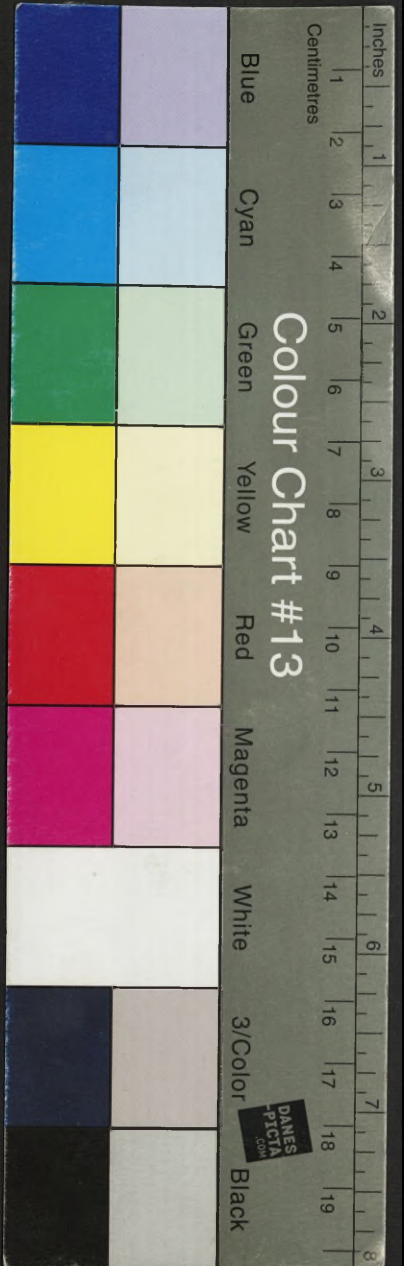
Mjr mgr inż. Stefan ANTCZAK

**Zastosowanie niektórych metod
badań operacyjnych do oceny
pola radiolokacyjnego dla
wykrywania obiektów
powietrznych na małych
wysokościach w brygadzie
radiotechnicznej korpusu obrony
powietrznej kraju**

Rozprawa doktorska

11657

WARSZAWA 1978





14

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

JAWNE
POUFNE

Egz. Nr 4

Mjr mgr inż. Stefan ANTOCZAK

Zastosowanie niektórych metod
badań operacyjnych do oceny
pola radiolokacyjnego dla
wykrywania obiektów
powietrznych na małych
wysokościach w brygadzie
radiotechnicznej korpusu obrony
powietrznej kraju

Rozprawa doktorska

11657

Przechl. Prot. 320 / 21.03.95
Otk

JAWNE

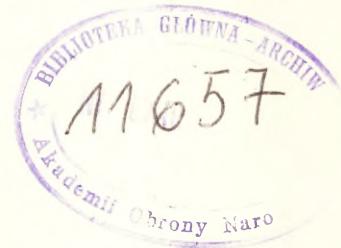
Egz. Nr ... 4



Mjr. mgr inż. Stefan ANTCZAK

ZASTOSOWANIE NIEKTÓRYCH METOD BADAŃ OPERACYJNYCH
DO OCENY POLA RADIOLOKACYJNEGO DLA WYKRYWANIA
OBIEKTÓW POWIETRZNYCH NA MAŁYCH WYSOKOŚCIACH
W BRYGADZIE RADIOTECHNICZNEJ KORPUSU OBRONY
POWIETRZNEJ KRAJU

Rozprawa doktorska



Opracowana
pod kierownictwem naukowym

płk.doc.dr.nawig.Romana DWORAKA

WARSZAWA

WRZESIEŃ

1978 r.

SPIS TREŚCI

	Str.
Wykaz ważniejszych oznaczeń.....	5
WSTĘP.....	8
1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POLA RADIOLOKACYJNEGO NA MAŁYCH WYSOKOŚCIACH	13
1.1. Pole radiolokacyjne i jego charakterystyka.....	13
1.2. Zasięg wykrywania na małych wysokościach.....	28
1.3. Kąty zakrycia i ich wyznaczanie	35
2. BADANIA OPERACYJNE I MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ICH METOD DO OCENY POLA RADIOLOKACYJNEGO	39
3. MODEL MATEMATYCZNY POLA RADIOLOKACYJNEGO BRYGADY RADIOTECHNICZNEJ	42
3.1. Ugrupowanie brygady radiotechnicznej.....	43
3.2. Charakterystyka stacji radiolokacyjnych.....	44
3.3. Charakterystyka zaświeceń ekranów stacji radio- lokacyjnych od przedmiotów terenowych.....	46
3.4. Wysokość zawieszenia elementu promieniującego anteny stacji radiolokacyjnej.....	49
3.5. Charakterystyka terenu.....	49
3.6. Rzut rejonu działań bojowych korpusu OPK.....	60
3.7. Charakterystyka sposobów pracy stacji radio- lokacyjnych.....	62
3.8. Kryterium oceny pola radiolokacyjnego.....	63
3.9. Metoda oceny pola radiolokacyjnego i wyboru wariantu ugrupowania BRT	68
4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA EMC DO OCENY POLA RADIOLOKA- CYJNEGO NA MAŁYCH WYSOKOŚCIACH W BRT	78
4.1. Przykład taktyczny.....	78
4.2. Warianty ugrupowania brygady radiotechnicznej...	80
4.3. Założenia przyjęte dla rozwiązania przykładu taktycznego	82
4.4. Przygotowanie danych wejściowych do obliczeń....	85
4.5. Przeprowadzenie obliczeń na EMC ODRA 1305.....	86
4.6. Wyznaczenie optymalnego wariantu ugrupowania i dyskusja rozwiązania	90
5. WNIOSKI KOŃCOWE	96
ZAKOŃCZENIE	100
LITERATURA	102

ZAŁĄCZNIKI

1. Wykaz ważniejszych oznaczeń przyjętych w programach.
2. Programy oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach na EMC ODRA 1305.
3. Przygotowanie danych wejściowych do programu obliczeniowego WPRL.
4. Przygotowanie danych wejściowych do programu obliczeniowego KPOL.
5. Zestawienie współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego na wysokości $h = 300$ m.
6. Zestawienie współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego dla wybranych kierunków na wysokości $h = 300$ m.
7. Przekrój poziomy pola radiolokacyjnego wykrywania na małych wysokościach - wariant 1-A.
8. Pole radiolokacyjne na wysokości $h = 100$ / $h = 500$ m/ na założonym kierunku - wariant 1-A1.
9. Przekrój poziomy pola radiolokacyjnego wykrywania na małych wysokościach - wariant 11-A.

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

=====

1. P_w - prawdopodobieństwo wykrycia obiektu powietrznego;
2. V_B - pole radiolokacyjne brygady radiotechnicznej;
3. V_K - rejon działań bojowych korpusu OPK;
4. D_{max} - maksymalna odległość wykrywania stacji radiolokacyjnej;
5. D_{min} - minimalna odległość wykrywania stacji radiolokacyjnej;
6. Q_o - strefa wykrywania odległościomierza;
7. Q_w - strefa wykrywania wysokościomierza;
8. Q_R - strefa rozpoznania radiolokacyjnego;
9. Q_p - strefa pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziału radiotechnicznego;
10. V_D - pole radiolokacyjne kompanii radiolokacji/kompanii miejscowych/;
11. V_M - pole radiolokacyjne kompanii radiotechnicznych /kompanii terenowych/;
12. V_I - przestrzeń wykrywania pierwszej warstwy BRT;
13. V_{II} - przestrzeń wykrywania drugiej warstwy BRT;
14. D_{hr} - zasięg horyzontu radiowego;
15. K_h - współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego stacji radiolokacyjnej;
16. $K(\alpha)$ - współczynnik kąta zakrycia;
17. R - promień kuli ziemskiej;
18. R_z - równoważny promień kuli ziemskiej $/R_z = \frac{4}{3} R/$;
19. R_{sb} - promień strefy bliższej pozycji radiolokacyjnej;
20. H_o - bezwzględna wysokość lotu obiektu powietrznego;
21. h_s - bezwzględna wysokość elektrycznego centrum anteny stacji radiolokacyjnej;

22. P_b - wektor ugrupowania brygady radiotechnicznej;
23. P_k - wektor ugrupowania k-tej kompanii radiotechnicznej;
24. WPT_k - wektor współrzędnych k-tej kompanii radiotechnicznej;
25. WPR_k - wektor wyposażenia k-tej kompanii radiotechnicznej w sprzęt radiolokacji;
26. K - macierz współczynników wykorzystania horyzontu radiowego stacji radiolokacyjnych;
27. TES - wektor współczynników wykorzystanie urządzeń tłumienia ech stałych;
28. RSM - wektor promieni stref martwych stacji radiolokacyjnych;
29. RZ - macierz promieni zaświeceń ekranów stacji radiolokacyjnych od przedmiotów terenowych;
30. HLK - macierz wysokości zawieszenia elementów promieniujących anten stacji radiolokacyjnych;
31. H - macierz bezwzględnych wysokości terenu;
32. RDB - wektor par współrzędnych odcinków opisujących rzut rejonu działań bojowych na powierzchnię ziemi;
33. S - wektor sposobów pracy stacji radiolokacyjnych;
34. $S_{PR}/h/$ - powierzchnia pełnej informacji radiolokacyjnej na wysokości h ;
35. $S_{RDB}/h/$ - powierzchnia rejonu działań bojowych korpusu OPK na wysokości h ;
36. $W /h/$ - współczynnik ciągłości pola radiolokacyjnego na wysokości h ;
37. h_a - względna wysokość zawieszenia elementu promieniującego anteny RLS nad powierzchnią ziemi;
38. λ - długość fali roboczej;
39. h_p - bezwzględna wysokość przeszkody terenowej;

- 40. P - zbiór wariantów ugrupowania;
- 41. Z - zbiór stacji radiolokacyjnych ugrupowania;
- 42. \bar{W} - maksymalna wartość funkcji kryterium;
- 43. PWS - założone prawdopodobieństwo wykrywania stacji radiolokacyjnej.

Dynamiczny rozwój środków napadu powietrznego /ŚNP/ państw NATO przyczynił się w ostatnich latach także do rozwoju własnych środków obrony powietrznej i ich dostosowania do najbardziej skutecznego przeciwdziałania. Wyraża się to możliwościami niszczenia jego środków, przed rubieżami wykonania przez nie zadań bojowych.

Przeciwnik powietrzny w celu pokonania systemu obrony powietrznej kraju, może stosować różne sposoby działania, dla obniżenia efektywności i skuteczności środków obrony powietrznej. Dążył on będzie tym samym, do zmniejszenia własnych strat, w czasie pokonywania obrony powietrznej. Przeciwnik chcąc więc osiągnąć zamierzony cel, będzie starał się stosować: działania na małych i bardzo małych wysokościach,^{1/} w szerokim zakresie zakłócenia pracy środków radiotechnicznych zabezpieczających działania aktywnych środków obrony powietrznej; imitowanie celów powietrznych; manewr przeciwlotniczy; przeciwradiolokacyjny; bezpośrednio oddziaływanie ogniowe na elementy ugrupowania bojowego wojsk obrony powietrznej.

Z powyższego wynika, że jednym z zasadniczych sposobów działania ŚNP potencjalnego przeciwnika będą najprawdopodobniej naloty na małych wysokościach. Zaleta lotów na tych wysokościach szeroko wykorzystywana była w czasie ostatnich konfliktów zbrojnych [36] , [41]. Podejmowane przedsięwzięcia organizacyjne i szkoleniowe wskazują na to, że w przyszłych konfliktach zbrojnych przeciwnik powietrzny w pełni będzie starał się, wykorzystać zalety małych wysokości, a szczególnie w pierwszym zmasowanym uderzeniu [5] , [12] , [10] , [34] .

Ogólnie wiadomo, że loty na małych wysokościach w porównaniu z lotami na wysokościach średnich i dużych charakteryzują się pewnymi szczególnymi cechami. Wysokości te z jednej strony umożliwiają lotnictwu, wykonanie zadania bojowego z zaskoczenia, ale z drugiej strony stanowią one dla niego szereg

1/ W państwach NATO do małych wysokości zalicza się loty wykonywane w granicach od 100 do 450 m /w USA od 70 do 450 m/, natomiast do bardzo małych wysokości loty do 100 m. /Metoda określania realnych stref wykrywania stacji radiolokacyjnych na małych wysokościach z uwzględnieniem terenu i przedmiotów terenowych, ASG 1974, s.4/.

niedogodności. I tak, w przypadku działania lotnictwa na tych wysokościach, opóźnia się czas ich wykrycia przez środki radiolokacyjne obrony powietrznej. Utrudnione są działania artylerii raketowej. Komplikuje się użycie lotnictwa myśliwskiego obrony powietrznej oraz wykorzystanie systemu naprowadzania własnych samolotów na cele powietrzne. Ponadto małe wysokości umożliwiają lotnictwu przeciwnika powietrznego, wykonywać zadania w zasadzie z zaskoczenia.

W celu zabezpieczenia działań bojowych lotnictwa na małych wysokościach, na samolotach państw NATO instaluje się specjalną aparaturę^{2/}, zabezpieczającą zautomatyzowane nawigowanie samolotu, wykonywanie bombardowania i strzelania powietrznego zarówno pociskami, jak i raketami.

Lotnictwo przeciwnika zawsze będzie wykorzystywało słabe strony, wynikające z braku odpowiednio skutecznych środków obrony, w celu zapewnienia sobie swobody i bezpieczeństwa działania. Problemowi temu potencjalny przeciwnik poświęca wiele uwagi. Czyni to zarówno w sensie taktycznym, jak i technicznym. Spowodowane jest to szeregiem czynników, z których najważniejsze to: większe możliwości sił i środków obrony powietrznej na średnich i dużych wysokościach; ograniczone możliwości wykrywania obiektów powietrznych na małych wysokościach za pomocą stacji radiolokacyjnych; duże kąty przemieszczenia się obiektów

2/ Problemowi działania na małych wysokościach państwa NATO poświęcają wiele uwagi. O ważności jego niech świadczy fakt, użycia przez Amerykanów w wojnie wietnamskiej nowego samolotu F-111, specjalnie przystosowanego do działań na małych wysokościach. Na pokładzie tego samolotu zamontowano specjalną aparaturę TFR /TERRAIN FOLLOWING RADAR/, która pozwala na wykonywanie lotów na małej wysokości. Umożliwia ona obserwację radiolokacyjną terenu i automatyczne zwiększanie wysokości lotu przed przeszkodą terenową. Dokonuje ona porównania trasy lotu, ze znajdującą się na pokładzie "mapą radiolokacyjną". Proces pilotowania i nawigacji samolotu jest w wysokim stopniu zautomatyzowany. Wyposażenie radioelektroniczne i nawigacyjne umożliwia samolotom, działanie w różnych warunkach atmosferycznych, w nocy oraz na małych i bardzo małych wysokościach. Podobne wyposażenie posiadają także samoloty, wprowadzone do uzbrojenia w latach 1975-77 /F-15, MIRAGE F-14/ oraz mające wejść na uzbrojenie do roku 1980. Są to samoloty A-10, PANAWIA-200, ALPHA-JET i F-16 /Biuletyn informacyjny Nr 2 /122/, MON 1976 s.13/.

powietrznych, co w poważnym stopniu utrudnia ich wykrywanie i śledzenie.

Z powyższego wynika, że jedną z podstawowych przyczyn małej efektywności zwalczania celów powietrznych na małych wysokościach, są ograniczone między innymi możliwościami odpowiednio wczesnego ich wykrywania. Do najważniejszych czynników ograniczających możliwości radiolokacyjnego wykrywania i rozpoznawania obiektów powietrznych na małych wysokościach, zaliczyć można stosunkowo małe odległości wykrywania, spowodowane wpływem kątów zakrycia i zaświeceniami ekranu stacji radiolokacyjnej od przedmiotów terenowych, a w związku z tym i krótkim czasem przebywania tych obiektów w polu radiolokacyjnym. Możliwe jest także zagubienie obiektów powietrznych w nieobserwowanych częściach przestrzeni, a tym samym i utrudnione naprowadzanie lotnictwa myśliwskiego na cele powietrzne.

Z przedstawionymi czynnikami, ograniczającymi możliwości zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych aktywnych środków walki, należy się liczyć w czasie planowania i organizowania działań bojowych w wojskach obrony powietrznej kraju.

W związku z tym, brygada radiotechniczna jako związek taktyczny korpusu OPK będzie miała poważne trudności, radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych oddziałów lotnictwa myśliwskiego i artylerii rakietowej. Trudności te, spotęgują się jeszcze w toku działań bojowych, gdy zniszczeniu ulegną niektóre pododdziały radiotechniczne oraz w warunkach stosowania przez ŚNP zakłóceń radioelektronicznych. Zaistnieje wówczas konieczność dokonania w możliwie krótkim czasie oceny^{3/} aktualnych możliwości wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych, w tym głównie na wysokościach małych i bardzo małych. W dalszej kolejności zajdzie potrzeba przedstawienia dowódcy korpusu OPK, propozycji odtworzenia naruszonego, czy też poprawy istniejącego pola radiolokacyjnego. Najprawdopodobniej przedsięwzięcia te wykonać trzeba będzie w ograniczonym czasie. Prawdopodobnie nie będzie również i czasu na dokonanie oceny zaproponowanych

3/ Mówiąc o ocenie, będziemy mieli na uwadze "wypowiadanie sądu o wartości czego", zgodnie z określeniem podanym w Słowniku Języka Polskiego, PWN, Warszawa 1963, t.5, s.600.

wariantów ugrupowania BRT, przez wykonanie oblotów. Dlatego też, wynika potrzeba wykorzystania do tego celu metod matematycznych i elektronicznej techniki obliczeniowej. Opracowanie określonego modelu i programów pozwoli na przebadanie w przeciągu niedługiego okresu czasu kilku wariantów ugrupowania BRT i wybranie spośród nich wariantu najlepszego. Opracowany program, umożliwi także badanie określonego wariantu kilkakrotnie w zależności od potrzeb i przy nie dużym nakładzie środków materialnych.

Przedstawione rozważania, wskazują na potrzebę, prowadzenia prac, których celem jest opracowanie metod ułatwiających i usprawniających przygotowanie w miarę wiarygodnych danych, potrzebnych do podjęcia decyzji do dalszych działań bojowych. Niniejsza praca stanowi pewną propozycję, wprowadzenia metod badań operacyjnych do oceny pola radiolokacyjnego i wyboru określonego wariantu ugrupowania BRT.

Podstawowe problemy badań zawarte w pracy, sprawdzają się do następujących zagadnień:

1/ analizy radiolokacyjnego wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych na małych wysokościach;

2/ opracowania modelu matematycznego pola radiolokacyjnego;

3/ zastosowania modelu do oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach i dokonania wyboru ugrupowania środków radiolokacyjnych w BRT, z wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej.

Podstawowa problematyka pracy zawarta została w pięciu rozdziałach.

W rozdziale pierwszym przedstawiono ogólną charakterystykę pola radiolokacyjnego. Zdefiniowano pojęcia pola radiolokacyjnego brygady radiotechnicznej i pododdziału radiotechnicznego. Określono pojęcia stref: wykrywania odległościomierza i wysokościomierza, rozpoznania radiolokacyjnego, aktywnej odpowiedzi oraz pełnej informacji radiolokacyjnej. Dokonano analizy podstawowych parametrów pola radiolokacyjnego. Zwłaszcza szczególnie przeanalizowano problem określania zasięgu wykrywania obiektów powietrznych na małych wysokościach, z uwzględnieniem wpływu na jego wielkość przedmiotów terenowych oraz

powstałych na skutek ich występowania kątów zakrycia. Przedstawiono podstawową zależność matematyczną, określającą zasięg wykrywania stacji radiolokacyjnych na małych wysokościach, uwzględniającą współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego. Pokazano w nim także, sposób wyznaczenia kątów zakrycia.

W rozdziale drugim podano ogólną ideę badań operacyjnych. Badania operacyjne stanowią rozległą dziedzinę wiedzy, której treścią jest zestawianie modeli złożonych zjawisk i procesów, ich analiza i wyrażanie istniejących powiązań wewnętrznych i zewnętrznych za pomocą ścisłych metod matematycznych. W tym też sensie wskazano, na możliwość zastosowania jej metod do oceny pola radiolokacyjnego.

Zasadniczymi częściami rozprawy są rozdziały trzeci i czwarty.

Przedmiotem rozważań w rozdziale trzecim jest model matematyczny pola radiolokacyjnego brygady radiotechnicznej.

Zwrócono w nim szczególną uwagę na problem opisu wysokości terenu, sposób zapisu na maszynowych nośnikach informacji oraz sposób wyznaczania wartości kątów zakrycia pomiędzy dwoma dowolnymi punktami. Sformułowano kryterium oceny pola radiolokacyjnego i przedstawiono sposób wyboru optymalnego wariantu ugrupowania.

Rozdział ten stanowi podstawę dla opracowania programów obliczeniowych.

Na jego podstawie opracowano dwa programy na EMC ODRA-1305 w języku FORTRAN. Pierwszy z programów, umożliwia dokonanie oceny pola radiolokacyjnego dowolnego wariantu ugrupowania. Oceny przeprowadzać można w całym rejonie działań bojowych korpusu OPK, dla dowolnie wybranej względnej lub bezwzględnej wysokości /w zakresie małych wysokości/. Drugi program pozwala na ocenę pola radiolokacyjnego na dowolnie zadanej wysokości i dowolnie wybranym kierunku rejonu działań bojowych korpusu OPK. Opis ich przedstawiony jest w załączniku nr 2.

W rozdziale czwartym przedstawiono przykład taktyczny i sposób jego rozwiązania. Obliczenia oraz dyskusję wyników przeprowadzono dla dziesięciu wariantów ugrupowania brygady radiotechnicznej.

W zakończeniu pracy omówiono zasadnicze wnioski, wskazano

na niedociągnięcia oraz możliwości i kierunki prowadzenia dalszych badań.

Programy obliczeniowe na EMC, dane wejściowe do obliczeń oraz kompletne wyniki obliczeń ilustrujące zaprezentowaną metodę oceny pola radiolokacyjnego zawarto w dodatkowym opracowaniu, dołączonym do rozprawy, jako część druga - załączniki.

Autor pragnie podziękować tym wszystkim, których uwagi i komentarze znalazły odzwierciedlenie w pracy. Serdecznie dziękuję promotorowi płk. doc. dr. Romanowi DWORAKOWI za kierownictwo naukowe rozprawą. Wyrażam wdzięczność płk. inż. Andrzejowi REMBALSKIEMU i płk.doc.dr. w st. spocz. Janowi UCHAŃSKIEMU za wiele cennych uwag, które pozwoliły wzbogacić treść rozprawy. Kolegom z Katedry Taktyki Wojsk OPK, z którymi dyskusja pozwoliła nadać jej ostateczny kształt. Jestem wdzięczny kpt. mgr. inż. Henrykowi KIEREBIŃSKIEMU, który służył mi cennymi radami przy opracowywaniu i uruchamianiu programów obliczeniowych na EMC.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POLA RADIOLOKACYJNEGO NA MAŁYCH WYSOKOŚCIACH

1.1. Pole radiolokacyjne i jego charakterystyka

Rozpoznanie radiolokacyjne i zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych aktywnych środków walki w rejonie działań bojowych wojsk OPK realizuje się, za pomocą odpowiednio zorganizowanego systemu radiolokacyjnego. W skład tego systemu wchodzi ugrupowanie bojowe wojsk radiotechnicznych, system zbierania, przetwarzania, przekazywania i zobrazowania informacji radiolokacyjnej. Podstawą systemu radiolokacyjnego są rozwinięte w terenie pododdziały radiotechniczne. Odpowiednie ugrupowanie pododdziałów radiotechnicznych w rejonie obrony wojsk OPK, ma na celu utworzenie określonego pola radiolokacyjnego^{4/}.

4/ Wakin i Szustow podają, że "stacje radiolokacyjne pracujące w reżimie przeszukiwania, połączone terytorialnie w systemy i podsystemy nazywa się często polem radiolokacyjnym" /Wakin S.A., Szustow L.N., Zasady przeciwdziałania radioelektronicznego, MON, Warszawa 1972, s.86/.

W praktyce, można spotkać się z różnymi określeniami pola radiolokacyjnego. Najtrafniejszym wydaje się być następujące. Pole radiolokacyjne jest to przestrzeń, w której za pomocą środków radiolokacyjnych wojsk radiotechnicznych możliwe jest wykrywanie i śledzenie obiektów powietrznych z prawdopodobieństwem nie mniejszym od ustalonego oraz określanie z wymaganą dokładnością ich charakterystyk. Granice pola radiolokacyjnego ustala się dla określonej wartości skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego na danej wysokości.

Zaprezentowane pojęcie pola radiolokacyjnego^{5/} jest abstraktem, określającym potencjalne możliwości systemu radiolokacyjnego, lokacji obiektów powietrznych. W naszym przypadku, interesować nas będą możliwości wykrywania, śledzenia i określania współrzędnych obiektów powietrznych.

Zgodnie z określeniem podanym w definicji pola radiolokacyjnego, wykrywanie i śledzenie obiektów powietrznych odbywa się z określonym prawdopodobieństwem, a to z tego względu, że i sam proces wykrywania oraz śledzenia obiektów^{6/} za pomocą środków radiolokacyjnych jest procesem stochastycznym. Polega on na stwierdzaniu obecności lub braku obiektu w danym punkcie obserwowanej przestrzeni, drogą odbioru i opracowywania sygnałów radiolokacyjnych, składających się z serii impulsów [7], [39].

Sygnały są zawsze odbierane wraz z zakłóceniami, obecność których powoduje zniekształcenie sygnałów i powstawanie pomyłek w ocenie sytuacji powietrznej. Stwierdzenie więc obecności obiektu lub jego braku, odbywa się na podstawie dwóch wzajemnie wykluczających się warunków: obiekt rzeczywiście jest i obiektu rzeczywiście nie ma.

5/ Spotkać można się także z pojęciem "przestrzeń radiolokacyjna" zamiast "pole radiolokacyjne". Autorowi wydaje się, że nazwa pojęcia "pole radiolokacyjne", jaka została użyta w powyższym kontekście jest słuszna, analogicznie zresztą do często używanych pojęć pola magnetycznego, grawitacyjnego czy elektromagnetycznego.

6/ W dalszym ciągu dla skrócenia zapisu, obiekty powietrzne nazywać będziemy prosto obiektami.

W czasie wypracowywania decyzji obydwie te warunki nie są znane. Dlatego też, każdemu z nich można przyporządkować dwie decyzje: obiekt jest i obiektu nie ma. W procesie wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych, istnieją więc cztery możliwe przypadki. Przy założeniu, że obiekt w rzeczywistości jest w rejonie obserwacji, przypadek pierwszy - decyzja "obiekt jest" będzie wykryciem właściwym, a decyzja "obiektu nie ma" będzie nie wykryciem /przepuszczeniem/ obiektu - to przypadek drugi. Przy założeniu, że obiektu w rzeczywistości nie ma, przypadek trzeci - decyzja "obiektu nie ma" będzie nie wykryciem właściwym, a decyzja "obiekt jest" będzie wykryciem błędnym /fałszywym alarmem/ - to przypadek czwarty.

Zarówno nie wykrycie obiektu, jak i fałszywy alarm są błędami wynikającymi przy wykrywaniu i śledzeniu.

Ponieważ w ogólnym przypadku sygnały radiolokacyjne i zakłócenia są przypadkowymi funkcjami czasu, wobec tego powzięcie tej czy innej decyzji ma charakter stochastyczny. Możliwość powstawania tych sytuacji, przyjęto oznaczać [39] prawdopodobieństwami właściwych i błędnych decyzji. Są to prawdopodobieństwa: prawidłowego wykrycia P_w , prawidłowego nie wykrycia P_n , przepuszczenia obiektu P_p i fałszywego alarmu P_f .

Prawidłowe wykrycie i przepuszczenie obiektu /rzeczywista obecność obiektu w obserwowanej przestrzeni/ tworzą pełną grupę zdarzeń przeciwnych i dlatego odpowiadające im prawdopodobieństwa

$$P_w + P_p = 1. \quad /1.1/$$

W podobny sposób ma się sprawa prawidłowego nie wykrycia i fałszywego alarmu, które również tworzą grupę zdarzeń uzupełniających się dla przypadku rzeczywistego braku obiektu. Zapisać to możemy następująco:

$$P_n + P_f = 1. \quad /1.2/$$

Z zależności /1.1/ i /1.2/ wynika, że spośród wymienionych prawdopodobieństw niezależne są tylko po dwie wielkości. W związku z tym, zwykle, jako dwie niezależne wielkości w celu

scharakteryzowania urządzeń wykrywania, wykorzystuje się prawdopodobieństwa: prawidłowego wykrycia i fałszywego alarmu.

Obliczanie prawdopodobieństw prawidłowego wykrycia i fałszywego alarmu, przedstawiają poważne trudności rachunkowe. Jednakże w przypadku słabych sygnałów, a ten przypadek występuje w praktyce najczęściej, wyżej wspomniane prawdopodobieństwa mogą być obliczane na podstawie następujących zależności:

$$P_W = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi \left(\gamma \cdot \frac{N_i}{2} - \frac{\ln \lambda_{gr}}{\gamma \cdot \sqrt{2 N_i}} \right) \right] \quad /1.3/$$

$$P_F = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{\ln \lambda_{gr}}{\gamma \cdot \sqrt{2 \cdot N_i}} \right) \right], \quad /1.4/$$

gdzie:

$\Phi(x)$ - całka prawdopodobieństwa;

γ - stosunek mocy sygnału użytecznego do mocy sygnału zakłócenia na wejściu liniowej części odbiornika;

λ_{gr} - graniczna wartość stosunku prawdopodobieństwa;

N_i - ilość impulsów odbitych od obiektu poddanych opracowaniu.

Prawdopodobieństwo prawidłowego wykrycia, w przypadku założonego prawdopodobieństwa fałszywego alarmu, jest tym wyższe, im większy jest stosunek sygnału użytecznego do sygnału zakłócenia oraz im większa jest liczba opracowywanych impulsów^{7/}.

Pole radiolokacyjne utworzone za pomocą środków radiolokacyjnych, stanowi podstawę i warunek realizacji radiolokacyjnych metod wykrywania, śledzenia i określania charakterystyk obiektów powietrznych [48].

7/ W praktyce przyjmuje się prawdopodobieństwo prawidłowego wykrycia w granicach od 0.5 do 0.9, natomiast prawdopodobieństwo fałszywego alarmu od 10^{-10} do 10^{-6} / [39] , s.39/.

Rozciągłość przestrzenna, struktura i zakres wysokości pola radiolokacyjnego zależą od ugrupowania wojsk radiotechnicznych korpusów i wojsk OPK, składu bojowego i charakterystyk technicznych środków radiolokacyjnych pododdziałów radiotechnicznych, jak i również od właściwości wybranych dla nich pozycji bojowych /ze względu na warunki obserwacji przestrzeni/.

W celu zastosowania metod badań operacyjnych do oceny pola radiolokacyjnego dla wykrywania i śledzenia obiektów nisko lecących, konieczne jest dokonanie sformalizowanego opisu niektórych pojęć, związanych z ugrupowaniem wojsk radiotechnicznych i wytwarzanym przez nie polem radiolokacyjnym.

Największą jednostką organizacyjną ugrupowania bojowego wojsk radiotechnicznych jest brygada radiotechniczna. Tworzy ona pole radiolokacyjne, w celu rozpoznawania radiolokacyjnego obiektów i zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych aktywnych środków walki w rejonie działań bojowych korpusu korpusu^{8/}.

Oznaczmy przez V_B pole radiolokacyjne brygady radiotechnicznej, a przez V_K rejon działań bojowych korpusu OPK, dla wybranego przedziału wysokości. W celu pełnej realizacji zadań rozpoznania i zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych korpusu powinien być spełniony następujący warunek:

$$V_K \subset V_B .$$

/1.5/

Analizując zależność /1.5/ można powiedzieć, że pole radiolokacyjne BRT, jest to przestrzeń obejmująca w określonym przedziale wysokości rejon działań bojowych korpusu OPK, w której za pomocą środków radiolokacyjnych istnieje możliwość wykrywania i śledzenia obiektów z założonym prawdopodobieństwem oraz określania ich pełnej charakterystyki.

8/ Rejon działań bojowych korpusu OPK obejmuje część terytorium kraju wraz z przestrzenią powietrzną, w której granicach aktywne środki korpusu - zabezpieczone przez własny system dowodzenia i łączności - zwalczają nieprzyjaciela powietrznego. Część terytorium kraju, w której granicach znajdują się osłaniane obiekty, jak również rozmieszczone są siły i środki korpusu OPK - nazywa się rejonem obrony korpusu OPK /[40] , s. 28/.

Częścią składową pola radiolokacyjnego BRT, jest pole radiolokacyjne utworzone przez środki ugrupowania bojowego batalionu radiotechnicznego /brt/.

Zadaniem brt, który jest podstawowym pododdziałem taktycznym wojsk radiolokacyjnych wojsk OPK, jest radiolokacyjne zabezpieczenie działań bojowych oddziałów i pododdziałów lotnictwa myśliwskiego, wojsk raketowych i zakłóceń radioelektronicznych oraz wydawanie informacji radiolokacyjnej do SD BRT.

Pole radiolokacyjne brt składa się ze stref wykrywania kompanii radiotechnicznych /krt/, wchodzących w skład ugrupowania bojowego batalionu. Kompanie te są pododdziałami taktycznymi wojsk radiotechnicznych i stanowią pierwotne źródła informacji radiolokacyjnej o sytuacji powietrznej. Zasadniczym ich zadaniem jest prowadzenie radiolokacyjnego rozpoznania i przekazywanie informacji o sytuacji powietrznej do stanowiska dowodzenia batalionu.

Stopień realizacji radiolokacyjnego wykrywania i śledzenia obiektów w krt zależy, między innymi, od wytworzonego przez jej środki pola radiolokacyjnego. Na pole to składają się strefy wykrywania stacji radiolokacyjnych /RLS/, w które wyposażona jest kompania.

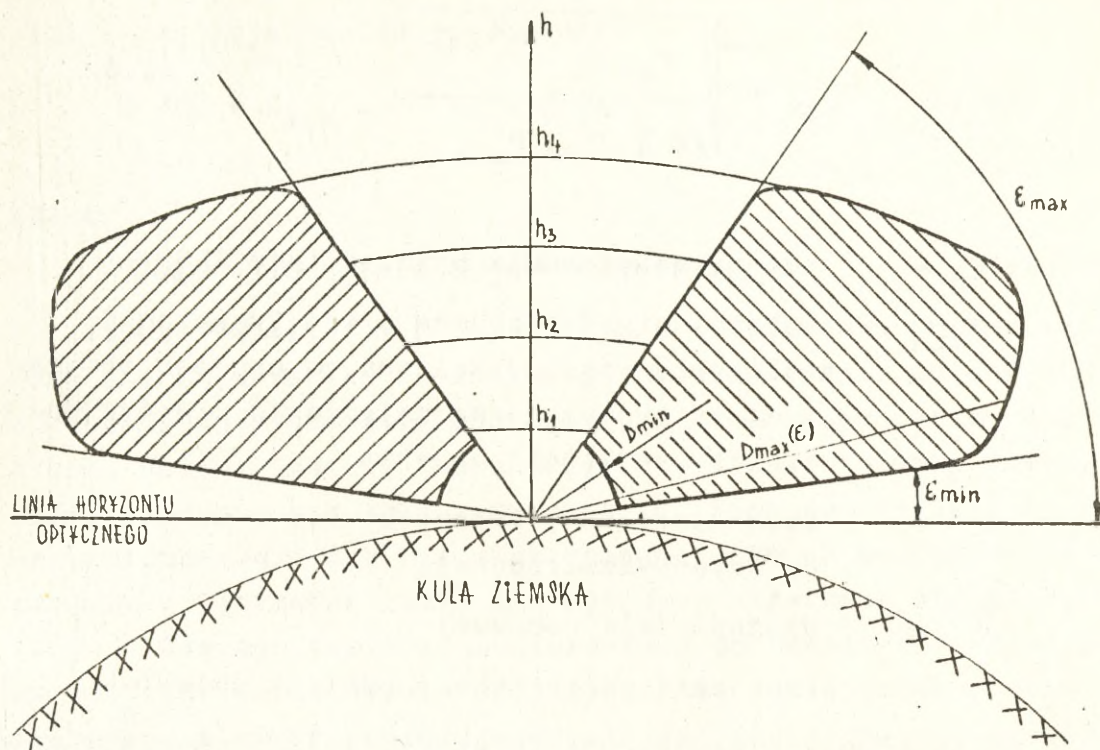
Przez strefę wykrywania RLS należy rozumieć przestrzeń, w granicach której za pomocą urządzenia radiolokacyjnego istnieje możliwość wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych z założonym prawdopodobieństwem oraz określenia ich charakterystyk.

W zależności od przeznaczenia urządzenia radiolokacyjnego^{9/} wyróżnić można strefy: wykrywania odległościomierza i wysokościomierza, rozpoznania obiektów oraz strefę aktywnej odpowiedzi^{10/}.

9/ Pod tym pojęciem rozumieć będziemy naziemne urządzenia radiolokacyjne znajdujące się w wyposażeniu wojsk radiotechnicznych wojsk OPK.

10/ Można się także spotkać z pojęciem "strefy lokacji pasywnej" /lub "polem lokacji pasywnej"/, wykorzystującej sygnał zakłócenia radioelektronicznego do określenia współrzędnych obiektów stosujących zakłócenia. W niniejszej pracy problemem tym nie będziemy się zajmować.

Strefa wykrywania odległościomierza jest to przestrzeń, w granicach której istnieje możliwość wykrywania i śledzenia obiektów z prawdopodobieństwem nie mniejszym od ustalonego oraz określania azymutu i odległości za pomocą urządzenia radiolokacyjnego /Rys. 1.1./



Rys.1.1. Przekrój pionowy strefy wykrywania odległościomierza

Strefa ta powstaje przez obrót charakterystyki promieniowania odległościomierza wokół osi pionowej w przedziale od 0 do 360° . Wielkość strefy wykrywania zależy od wymiarów charakterystyki promieniowania. Charakterystyka promieniowania odległościomierza w płaszczyźnie pionowej określona jest zewnętrzną i wewnętrzną granicą strefy wykrywania stacji.

Zewnętrzna granica strefy wykrywania, jest to zbiór punktów przestrzeni odległych od punktu stania anteny urządzenia radiolokacyjnego o maksymalną odległość wykrywania /maksymalny

zasięg wykrywania/. Z kolei maksymalnym zasięgiem nazywać będziemy największą odległość do obiektu, przy której jest zapewnione wykrycie sygnału odbitego od tego obiektu na tle zakłóceń z wymaganym prawdopodobieństwem.

Zakładając, że w przestrzeni oś maksymalnego promieniowania anteny RLS jest skierowana na obiekt i nie uwzględnia się pochłaniania fal elektromagnetycznych przez atmosferę, maksymalny zasięg wykrywania stacji można określić z zależności

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_n \cdot G_n^2 \cdot \lambda^2 \cdot \zeta}{4 \pi^3 \cdot P_{\min}}} \quad /1.6/$$

- gdzie: P_n - moc promieniowania przez antenę RLS;
 P_{\min} - minimalna moc odebrana przez urządzenie odbiorcze stacji, zależna od sposobu opracowywania sygnału oraz założonego prawdopodobieństwa wykrycia obiektu;
 G_n - zysk kierunkowy anteny stacji w odniesieniu do anteny izotropowej;
 λ - długość fali roboczej;
 ζ - skuteczna powierzchnia odbicia obiektu.

Maksymalny zasięg wykrywania stacji zależy od wielu czynników. Zaliczymy do nich: parametry techniczne stacji, charakterystykę promieniowania anteny stacji w swobodnej przestrzeni, wysokość zawieszenia elementu promieniującego, założone prawdopodobieństwa prawidłowego wykrycia i fałszywego alarmu, wysokość lotu obiektu i wielkość jego skutecznej powierzchni odbicia, rzeźbę terenu, kąty zakrycia i właściwości elektryczne pozycji na której jest rozwinięta stacja, warunki atmosferyczne.

Uwzględniając wpływ charakterystyki kierunkowej anteny RLS /w swobodnej przestrzeni/, równanie na zasięg wykrywania przyjmuje następującą postać

$$D' / \epsilon / = D_{\max} F / \epsilon / \quad /1.7/$$

gdzie:

$F/\epsilon/$ - charakterystyka kierunkowa anteny w swobodnej przestrzeni.

Ponieważ charakterystyki kierunkowe stacji zakresu metrowego i decymetrowego kształtowane są z udziałem ziemi, dlatego też oprócz składników uwzględnianych w /1.7/, należy wziąć pod uwagę dodatkowy czynnik, zwany interferencyjnym mnożnikiem ziemi [17] , [39] . W związku z powyższym, równanie /1.7/ przyjmuje następującą postać

$$D /\epsilon/ = D_{\max} \cdot F /\epsilon/ \cdot \Phi /\epsilon/, \quad /1.8/$$

gdzie:

$\Phi /\epsilon/$ - interferencyjny mnożnik ziemi.

Iloczyn wielkości $F /\epsilon/$ i $\Phi /\epsilon/$ przedstawia znormalizowaną charakterystykę kierunkowego promieniowania anteny RLS w płaszczyźnie pionowej pod kątem ϵ , z uwzględnieniem wpływu ziemi. Wpływ ziemi na charakterystykę promieniowania anteny stacji zmienia się wraz z wysokością. Spowodowane jest to prawem rozchodzenia się fal elektromagnetycznych bezpośrednio w pobliżu powierzchni ziemi i w wyższych warstwach atmosfery [45] . Dlatego też, przy obliczeniach do zewnętrznej granicy strefy wykrywania, należy uwzględnić istnienie dwóch charakterystycznych stref rozchodzenia się fal elektromagnetycznych. Strefy dyfrakcyjnej w przedziale małych wysokości oraz strefy interferencyjnej w przedziale średnich i dużych wysokości.

Wewnętrzna granica strefy wykrywania odległościomierza, jest to zbiór punktów w przestrzeni odległych od punktu stania anteny urządzenia radiolokacyjnego o minimalną odległość wykrywania /minimalny zasięg wykrywania/. Dla naziemnych stacji radiolokacyjnych, przy małych kątach położenia układu antenowego, rzeczywiste wartości minimalnej odległości wykrywania mogą być ograniczone przez rozjaśnienia początku podstawy czasu na ekranie wskaźnika, pochodzące od odbić promieniowanej przez nią energii elektromagnetycznej od przeszkód terenowych.

Jeżeli nie występują wymienione ograniczenia, wówczas minimalny zasięg wykrywania stacji obliczyć można z zależności.

$$D_{\min} = \frac{C}{2} / \tau + \tau_b / \quad /1.9/$$

gdzie:

C - prędkość rozchodzenia się światła;

τ - czas trwania impulsu promieniowanej energii elektromagnetycznej;

τ_b - czas bezwładności odbiornika /w tym czas dejonizacji zwieraków nadawanie - odbiór/.

W przedziale dużych wysokości minimalna odległość wykrywania ograniczona jest wielkością stożka martwego. Określić ją można z następującej zależności

$$D_{\min} = h_{st} \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon_{\max} \quad /1.10/$$

gdzie:

h_{st} - wysokość dla której określa się wielkość stożka martwego;

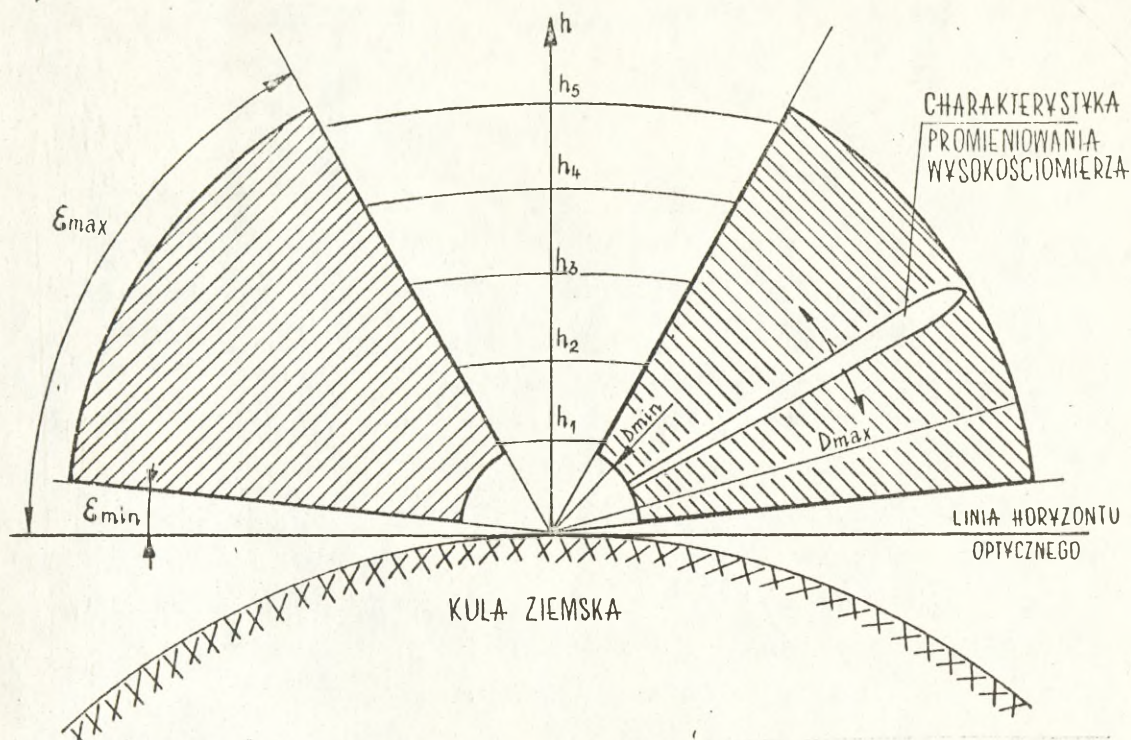
ε_{\max} - maksymalny kąt, pod którym może być wykryty obiekt z założonym prawdopodobieństwem.

Zależność /1.10/ określa wielkość promienia stożka martwego.

Strefa wykrywania wysokościomierza jest to przestrzeń, w granicach której za pomocą urządzenia radiolokacyjnego istnieje możliwość wykrywania i śledzenia obiektów z prawdopodobieństwem nie mniejszym od ustalonego oraz określania ich wysokości. Strefa ta powstaje w wyniku wahanía charakterystyki promieniowania wysokościomierza w płaszczyźnie pionowej, w przedziale kątów ε_{\min} do ε_{\max} i jej pełny obrót wokół osi pionowej

/Rys.1.2/.

Wielkość strefy wykrywania wysokościomierza zależy od odległości do zewnętrznej i wewnętrznej granicy strefy. Odległość do zewnętrznej granicy strefy wykrywania wyznacza maksymalny zasięg wykrywania, określony przy pomocy równania /1.8/.



Rys.1.2. Przekrój pionowy strefy wykrywania wysokościomierza.

Wewnętrzna granica strefy wykrywania wysokościomierza, podobnie jak i odległościomierza, oddalona jest od punktu jego stanie o minimalną odległość wykrywania. Wielkość tej granicy określić można za pomocą zależności /1.9/ i /1.10/.

W przypadku wykrywania i określania współrzędnych obiektów na małych wysokościach, wewnętrzna granica strefy może być dodatkowo powiększona, w związku z występowaniem kątów zakrycia i rozjaśnień początku podstawy czasu wskaźnika, powstałych od przemyłotów terenowych.

Strefa rozpoznania radiolokacyjnego jest to przestrzeń, w której za pomocą naziemnych urządzeń radiolokacyjnych istnieje możliwość określania przynależności obiektów z prawdopodobieństwem nie mniejszym od ustalonego. Strefa ta powstaje przez pełny obrót wokół osi pionowej charakterystyki promieniowania naziemnego radiolokacyjnego urządzenia zapytującego.

Dla większości znajdujących się w wyposażeniu wojsk radiotechnicznych wojsk OPK urządzeń zapytujących^{11/}, strefa rozpoznania jest większa lub równa strefie wykrywania odległościomierza. Ponieważ w dalszych rozważaniach zajmować będziemy się problemem wykrywania na małych wysokościach, założymy że strefa rozpoznania radiolokacyjnego nie jest mniejsza od strefy wykrywania odległościomierza - na którym urządzenie to jest zamontowane.

Strefa aktywnej odpowiedzi jest to przestrzeń, w której za pomocą urządzeń radiolokacyjnych istnieje możliwość wykrywania i śledzenia z prawdopodobieństwem nie mniejszym od założonego oraz określenia charakterystyk obiektów posiadających urządzenia retlanslacyjne. Zasięg wykrywania w przypadku urządzeń retlanslacyjnych ma charakter dwukierunkowej radiolokacji aktywnej /aktywne zapytanie i aktywna odpowiedź/.

W związku z tym zasięg radiolokacyjny ma charakter łączności dwukierunkowej. Określa się go zasięgiem łączności w kierunku urządzenie radiolokacyjne - urządzenie odzewowe /na obiekcie powietrznym/ i z powrotem, tj. w kierunku urządzenie odzewowe - urządzenia radiolokacyjne [46].

Środki jednego pododdziału radiotechnicznego tworzą najmniejsze ogniwo pola radiolokacyjnego, w granicach którego istnieje możliwość uzyskiwania pełnej informacji o sytuacji powietrznej /wykrywanie, śledzenie, określanie współrzędnych płaskich, wysokości i rozpoznania obiektów/. Nazywa się ono strefą pełnej informacji radiolokacyjnej [48].

Oznaczmy przez Q_0 strefę wykrywania odległościomierza, przez Q_W strefę wykrywania wysokościomierza i przez Q_R strefę rozpoznania radiolokacyjnego, to strefę pełnej informacji pododdziału radiotechnicznego Q_P tworzy zbiór tych punktów przestrzeni, które należą jednocześnie do wszystkich stref. Zapisać to można w następujący sposób

$$Q_P = Q_0 \cap Q_W \cap Q_R \quad /1.14/$$

11/ Wyjątek stanowi stacja radiolokacyjna dalekiego wykrywania, dla której strefa wykrywania może być większa od strefy rozpoznania w przypadku wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych na dużych wysokościach / [38] , s. 26/.

Ponieważ założyliśmy, że dla większości urządzeń radiolokacyjnych strefa rozpoznania nie jest mniejsza od strefy wykrywania odległościomierza, co zapiszemy

$$Q_D \subset Q_R . \quad /1.15/$$

W związku z tym zależność /1.14/ przyjmuje następującą postać

$$Q_P = Q_D \cap Q_W . \quad /1.16/$$

Oznacza to, że w przypadku gdy spełniony jest warunek /1.15/, strefę pełnej informacji radiolokacyjnej tworzą punkty przestrzeni należące jednocześnie do stref wykrywania odległościomierza i wysokościomierza, w które wyposażona jest kompania radiotechniczna.

Wzajemne stykanie lub przekrywanie się stref pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziałów radiotechnicznych ugrupowania BRT, zapewnia stworzenie ciągłego pola radiolokacyjnego. W tym sensie przez ciągłe pole radiolokacyjne rozumieć będziemy wycinek przestrzeni, w której w dowolnym punkcie możliwe jest wykrywanie, śledzenie i określanie charakterystyk obiektów w dowolnej chwili, przez co najmniej jeden pododdział radiotechniczny danego ugrupowania.

Struktura, wymiary i kształt ciągłego pola radiolokacyjnego scharakteryzowane są przez takie parametry jak: granica pola na danej wysokości, wysokość dolnej i górnej granicy pola oraz współczynnik przekrycia pola w danym punkcie przestrzeni. Wymienione parametry uwzględnia się przy ocenie możliwości bojowych pododdziałów, związków taktycznych i ugrupowania wojsk radiotechnicznych wojsk OPK. Parametry te wykorzystuje się także w obliczeniach i kalkulacjach operacyjno-taktycznych.

Przez granice pola radiolokacyjnego na danej wysokości należy rozumieć linię zamkniętą, uzyskaną przez przecięcie pola powierzchnią jednakowo odległą od powierzchni ziemi.

Wysokością dolnej granicy ciągłego pola radiolokacyjnego nazywa się minimalną wysokość, liczoną od powierzchni ziemi,

na której zapewnione jest wykrywanie, ciągle śledzenie i określanie pełnej charakterystyki obiektów, przez co najmniej jeden pododdział radiotechniczny /RLP/ danego ugrupowania w dowolnej chwili czasu. Tworząc pole radiolokacyjne, dąży się do tego, aby wysokość dolnej granicy pola była mniejsza lub równa możliwej minimalnej wysokości lotu SNP przeciwnika w danym rejonie działań bojowych korpusu OPK.

Wysokość górnej granicy ciągłego pola radiolokacyjnego jest to taka maksymalna bezwzględna wysokość, na której zapewnione jest wykrywanie, śledzenie i określanie pełnej charakterystyki obiektów, przez co najmniej jeden pododdział radiotechniczny danego ugrupowania w dowolnej chwili czasu.

Wysokości dolnej i górnej granicy ciągłego pola radiolokacyjnego zależą od rzeźby terenu, wysokości pozycji pododdziału, składu, liczby i charakterystyk technicznych RLS tworzących pole.

Współczynnikiem przekrycia ciągłego pola radiolokacyjnego w danym punkcie przestrzeni nazywa się liczbę, odpowiadającą ilości pododdziałów, których strefy pokrywają się wzajemnie w tym punkcie pola.

Z powyższego określenia wynika, że współczynnik przekrycia charakteryzuje wielowarstwowość pola w każdym punkcie przestrzeni w polu radiolokacyjnym. Wielowarstwowość ciągłego pola radiolokacyjnego zwiększa pewność i trwałość radiolokacyjnego wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych. W przypadku pokrywania się z wielozakresowością stref pełnej informacji pododdziałów /ze względu na częstotliwość promieniowanej energii elektromagnetycznej/, to wzrasta odporność pola danego ugrupowania na zakłócenia.

W celu efektywnego wykorzystania systemu radiolokacyjnego, pole radiolokacyjne w płaszczyźnie pionowej dzieli się na dwie warstwy.

Pierwszą warstwę stanowi część pola radiolokacyjnego, ograniczona od dołu granicą dolną ciągłego pola, natomiast od góry powierzchnią równo oddaloną od powierzchni ziemi /na poziomie morza/ o stałą wartość^{12/}. Kształtowana ona jest przez RLS

12/ W zorganizowanym przez wojska radiotechniczne wojsk OPK dwuwarstwowym polu radiolokacyjnym górna granica pierwszej /ciąg dalszy na str.27/.

kompanii radiotechnicznych /kompanie małych wysokości/ i kompanii radiolokacyjnych /dalekiego wykrywania i naprowadzania - miejscowe kompanie radiolokacyjne batalionów radiotechnicznych/.

Drugą warstwę stanowi ta część pola radiolokacyjnego, ograniczona górną granicą ciągłego pola oraz od dołu górną granicą pierwszej warstwy. Pole tej warstwy kształtowane jest przez RLS miejscowych kompanii radiolokacyjnych.

Oznaczając przez V_D pole radiolokacyjne utworzone przez kompanie radiolokacji, przez V_M pole radiolokacyjne utworzone przez kompanie radiotechniczne i kompanie radiolokacji, a przez V_I przestrzeń wykrywania pierwszej warstwy i przez V_{II} przestrzeń wykrywania drugiej warstwy, to ciągłość pola jest zapewniona, gdy wszystkie punkty przestrzeni wykrywania pierwszej warstwy należą do zbioru punktów pola radiolokacyjnego, utworzonego przez stacje radiolokacyjne kompanii radiolokacji i kompanii radiotechnicznych, co zapiszemy

$$V_I \subset V_D \cup V_M \quad /1.17/$$

oraz wszystkie punkty przestrzeni wykrywania drugiej warstwy należą do zbioru punktów pola radiolokacyjnego, utworzonego przez RLS kompanii radiolokacji, co zapiszemy

$$V_{II} \subset V_D \quad /1.18/$$

W dalszych rozważaniach ograniczymy się tylko do pola radiolokacyjnego pierwszej warstwy, a w szczególności do problemu wykrywania i śledzenia obiektów na małych i bardzo małych wysokościach.

/ciąg dalszy ze str.26/

warstwy znajduje się na wysokości około 2500 do 3000 m, natomiast dolna granica drugiej warstwy na wysokości około 2000 do 2500 m / [48] , s. 32/.

1.2. Zasięg wykrywania na małych wysokościach

Wielkość i parametry taktyczne pola radiolokacyjnego w zasadniczy sposób zależą od właściwości technicznych środków radiolokacyjnych oraz od właściwości propagacji fal radiowych i parametrów technicznych obiektów.

Jednym z podstawowych parametrów taktycznych charakteryzujących możliwości wykrywania - jest zasięg wykrywania obiektów z założonym prawdopodobieństwem.

Zasięg wykrywania zależy od wielu czynników, między innymi takich jak: charakterystyka energetyczna stacji radiolokacyjnej, długość fali roboczej, skuteczna powierzchnia odbicia wykrywanego obiektu, warunki propagacji fal radiowych.

Zasadniczą trudnością w radiolokacyjnym rozpoznawaniu obiektów lecących na małych wysokościach i określaniu ich charakterystyk, jest mały zasięg ich wykrywania. Uwarunkowany on jest między innymi kulistością powierzchni ziemi. Dla normalnej atmosfery z uwzględnieniem refrakcji fal radiowych zasięg ten równa się odległości horyzontu radiowego [9], [17]. Określić go można za pomocą wzoru

$$D_{hr} = \sqrt{2 \cdot K_1 \cdot R} \cdot \left(\sqrt{h_s} + \sqrt{H_0} \right) /, \quad /1.19/$$

gdzie:

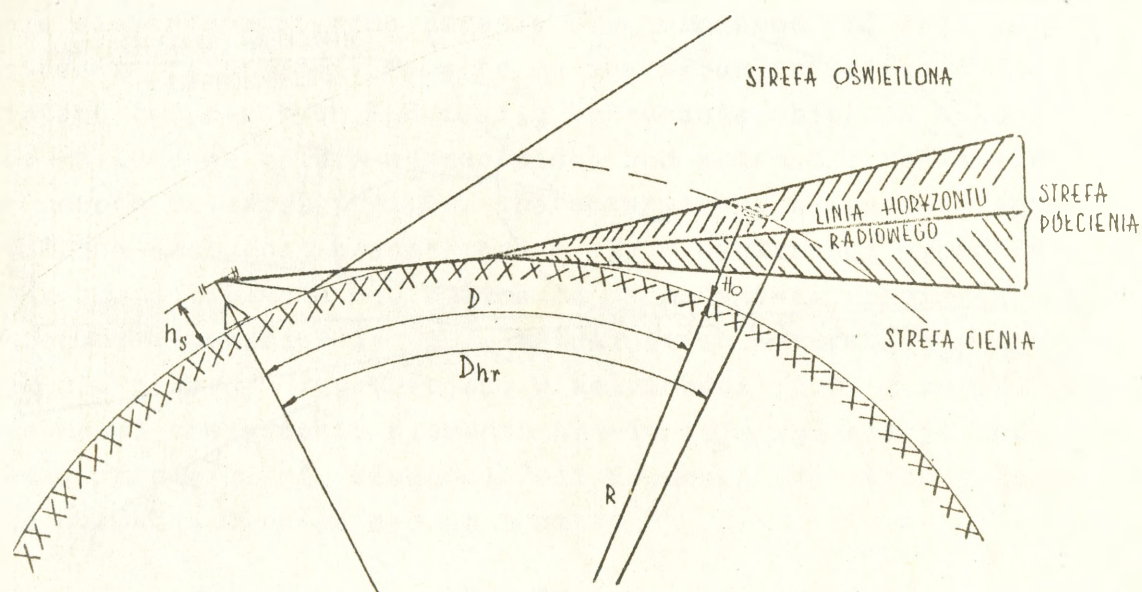
- R - promień kuli ziemskiej;
- K_1 - współczynnik wyrażający stosunek równoważnego promienia kuli ziemskiej do promienia rzeczywistego /dla refrakcji normalnej atmosfery $K_1 \approx \frac{4}{3}$ /;
- h_s - bezwzględna wysokość elektrycznego centrum anteny stacji radiolokacyjnej;
- H_0 - bezwzględna wysokość lotu obiektu.

Podstawiając do wzoru /1.19/ wartość współczynnika $K_1 = \frac{4}{3}$ i przyjmując promień kuli ziemskiej $R = 6370$ km, a wartości h_s i H_0 podając w metrach, otrzymuje się następującą wy-

godną do praktycznych obliczeń zależność na określenie odległości zasięgu horyzontalnego /w kilometrach/

$$D_{hr} = 4,12 / \sqrt{h_s} + \sqrt{H_0} / . \quad /1.20/$$

Odległość horyzontu radiowego stanowi dla RLS graniczny zasięg wykrywania. Istnieje jednak możliwość, wykrywania obiektów wykonujących lot na małych wysokościach, za pomocą stacji na odległościach zbliżonych do zasięgu horyzontu radiowego, a leżących w tzw. strefie półcienia /Rys. 1.3/.



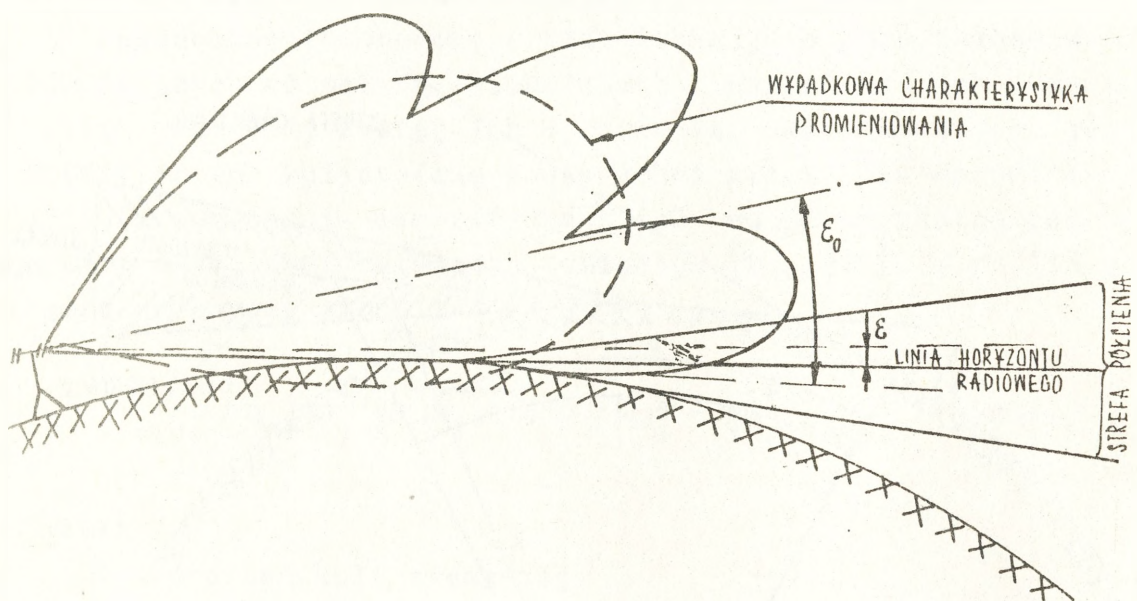
Rys.1.3. Wpływ krzywizny ziemi na odległość wykrycia obiektu powietrznego.

Strefa półcienia styka się z linią horyzontu radiowego z góry i z dołu - obejmując punkty, znajdujące się na odległościach nieco mniejszych i nieco większych od odległości horyzontu radiowego.

W celu określenia możliwości wykrywania i śledzenia obiektów na małych wysokościach, przeprowadzimy analizę zasięgu

wykrywania w interferencyjnej ^{13/} strefie półcienia.

W przypadku stacji radiolokacyjnych zakresu metrowego i decymetrowego, na skutek odbicia fal elektromagnetycznych od powierzchni ziemi, charakterystyka promieniowania anteny w płaszczyźnie pionowej składa się z szeregu wąskich listków [33]. Dlatego też w strefie interferencyjnej dla małych kątów nachylenia anteny, obiekty nisko lecące są wykrywane głównie za pomocą dolnych listków charakterystyki promieniowania stacji /Rys.1.4/.



Rys.1.4. Wykrywanie obiektów nisko lecących pod małymi kątami wzniesienia ϵ dolnym listkiem charakterystyki promieniowania stacji radiolokacyjnej.

W przypadku stacji radiolokacyjnych zakresu centymetrowego, kształtowanie charakterystyki kierunkowej w zwykłych warunkach pracy RLS odbywa się bez udziału powierzchni ziemi. Wykrywanie i śledzenie obiektów lecących na małych wysokościach realizowane

13/ W warunkach stosowania wzorów interferencyjnych wypadkowe pole elektromagnetyczne zależy od różnicy dróg promieni bezpośrednich i odbitych od powierzchni ziemi/[17], s.159/.

jest za pomocą dolnych kanałów stacji. Pochylenie systemu antenowego stacji tego zakresu o kąt większy od kąta położenia maksimum charakterystyki kierunkowej prowadzi do tego, że część promieniowanej energii elektromagnetycznej pada na powierzchnię ziemi, która w tym przypadku zaczyna brać udział w kształtowaniu charakterystyki. Pochylenie systemu antenowego, w celu zwiększenia odległości wykrywania obiektów na małych wysokościach, może być stosowane w przypadku, gdy pozycja RLS posiada zerowe lub ujemne kąty zakrycia.

W przypadku stacji radiolokacyjnych zakresu metrowego i decymetrowego posiadających charakterystyki promieniowania o małej kierunkowości, znaczna część energii pada na powierzchnię ziemi. Dlatego też dla małych kątów zakrycia, sumaryczne pole elektromagnetyczne określa się jako sumę pól fali bezpośredniej i odbitej. Pole to ma charakter interferencyjny. Dlatego też, dla tych RLS zasięg wykrywania obiektów wykonujących loty na małych wysokościach pod kątem ϵ , określa się za pomocą zależności /1.8/. Charakterystyka kierunkowa anteny RLS w swobodnej przestrzeni F / ϵ / w większości wypadków jest znana lub może być obliczona na podstawie rozmiarów anteny i długości fali [33]. Natomiast interferencyjny mnożnik ziemi $\Phi/\epsilon/$ /występujący w zależności /1.8/ / zależy od wysokości zawieszenia elementu promieniującego stacji nad powierzchnią ziemi, długości fali roboczej oraz kąta położenia obiektu. Określa się go z wzoru^{14/}

$$\Phi/\epsilon/ = 2 \sin \left/ \frac{2 \cdot h_a}{\lambda} \sin \epsilon \right/ , \quad /1.21/$$

gdzie:

ϵ - kąt położenia obiektu;

h_a - wysokość zawieszenia elementu promieniującego nad powierzchnią ziemi;

λ - długość fali roboczej.

14/ Za pomocą zależności /1.21/ można określić interferencyjny mnożnik ziemi tylko dla stacji radiolokacyjnych zakresu metrowego i decymetrowego dla małych kątów położenia obiektu.

W pobliżu powierzchni ziemi /w dolnej części pierwszego listka/ zasięg wykrywania tych stacji określić można za pomocą następującego przybliżonego wzoru

$$D/\epsilon/ = \frac{4\pi \cdot \epsilon \cdot h_a}{\lambda} \cdot D_{\max} \cdot \quad /1.22/$$

Jeżeli przyjąć, że

$$\epsilon = \frac{H_0}{D/\epsilon/} \quad /1.23/$$

to zależność /1.22/ można przedstawić w następującej postaci

$$D/\epsilon/ = \sqrt{\frac{4\pi \cdot h_a \cdot H_0}{\lambda}} \cdot \sqrt{D_{\max}} \cdot \quad /1.24/$$

Dla stacji zakresu centymetrowego zasięg wykrywania z uwzględnieniem strat energii elektromagnetycznej w atmosferze, określa się za pomocą graficznego rozwiązania równania

$$D/\epsilon/ = D_{\max} \cdot F/\epsilon/ \cdot \exp[-\beta_t \cdot D/\epsilon/], \quad /1.25/$$

gdzie:

β_t - współczynnik tłumienia fal elektromagnetycznych.

Sposób rozwiązania równania /1.25/ przedstawiony jest w pracy [35].

Określanie zasięgu wykrywania stacji radiolokacyjnych na małych wysokościach za pomocą przedstawionych zależności jest skomplikowane i pracochłonne. Dlatego też dla celów praktycznych z wystarczającą dokładnością, można wyznaczyć maksymalny zasięg wykrywania, korzystając z równania na zasięg horyzontu radiowego

$$D' = 4,12 \cdot K_h / \sqrt{h_s} + \sqrt{H_0}, \quad /1.26/$$

gdzie:

K_h - współczynnik uwzględniający wykorzystanie horyzontu radiowego przez dany typ RLS.

Wartość współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego K_h zależna jest od parametrów technicznych stacji i określa wielkość całkowitego tłumienia energii elektromagnetycznej na drodze jej rozchodzenia [45]. Wartość współczynnika zawiera się w granicach od zera do jedności.

W przypadku występowania większych nierówności terenu w bliższej strefie pozycji radiolokacyjnej, zasięg wykrywania na małych wysokościach znacznie maleje. W tym przypadku przeszkody terenowe wnoszą dodatkowe tłumienie energii elektromagnetycznej, zwane tłumieniem dyfrakcyjnym.

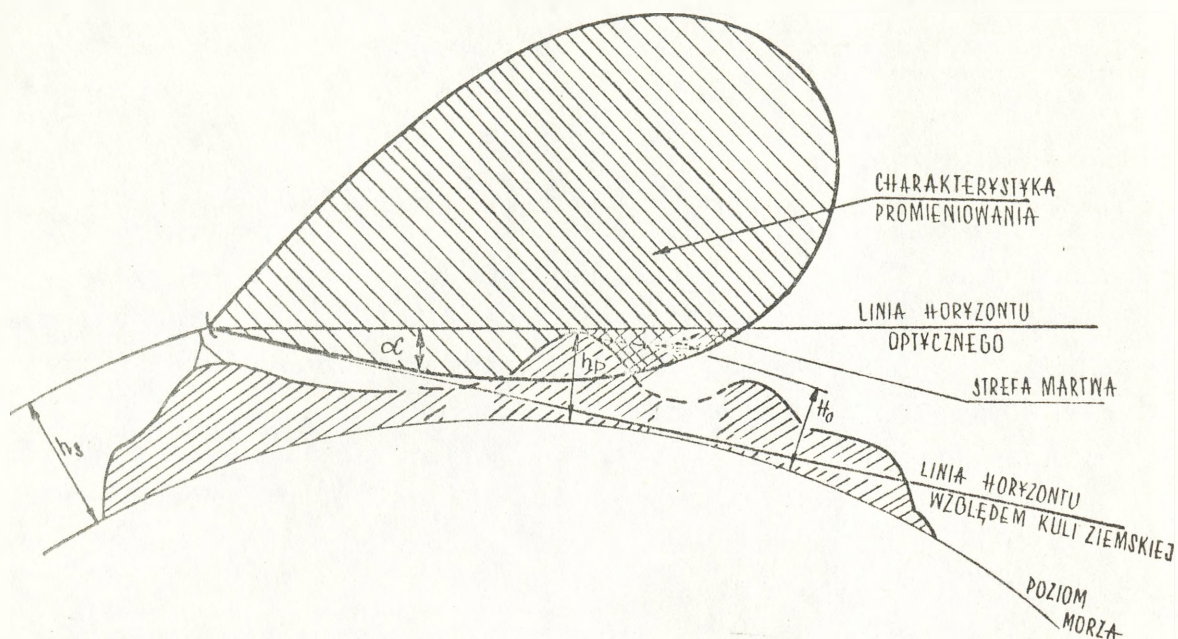
W zależności od typu stacji i jej parametrów technicznych, współczynnik K_h może przyjmować różne wartości. Wartość tego współczynnika charakteryzuje możliwości wykrywania danej stacji radiolokacyjnej.

Wartość współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego K_h obliczyć można na podstawie charakterystyk promieniowania i danych taktyczno-technicznych stacji wyszczególnionych w formularzach technicznych sprzętu. Sposób wyznaczania wartości tego współczynnika przedstawiony jest w pracach [24], [45].

Każda realna pozycja radiolokacyjna posiada różnorodne przeszkody terenowe, tworzące kąty zakrycia i tym samym zmniejszające zasięg wykrywania. Dlatego też, przy określaniu jego wielkości, szczególnie na małych wysokościach, należy uwzględnić istnienie kątów zakrycia. Przedmioty terenowe tworzą martwe strefy w polu radiolokacyjnym, w których obiekty nie mogą być wykrywane i śledzone /Rys.1.5/.

W celu uwzględnienia wpływu kątów zakrycia na zasięg wykrywania RLS, do zależności /1.26/ wprowadzono dodatkowy współczynnik $K / \alpha /$, zwany współczynnikiem kątów zakrycia. W związku z powyższym równanie /1.26/ przyjmuje postać

$$D = 4,12 \cdot K_h \cdot K / \alpha / \cdot / \sqrt{h_s} + \sqrt{H_0} / . \quad /1.27/$$



Rys.1.5. Wpływ kąta zakrycia na zasięg wykrywania stacji radiolokacyjnej

Wartość współczynnika kątów zakrycia $K / \alpha /$ wyznaczyć można za pomocą następującej zależności

$$K / \alpha / = \sqrt{1 + \frac{R_z}{2H_0} \sin^2 \alpha} - \sqrt{\frac{R_z}{2H_0}} \cdot \sin \alpha, \quad /1.28/$$

gdzie:

α - kąt, jaki tworzą linia horyzontu względem kuli ziemskiej z linią horyzontu optycznego /Rys.1.5/;

R_z - równoważny promień kuli ziemskiej.

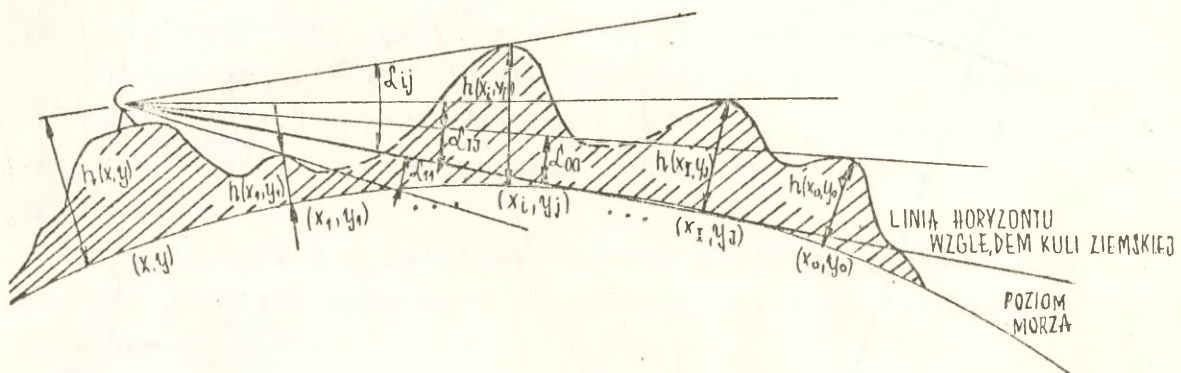
Na podstawie zależności /1.28/ można zauważyć, że wartość współczynnika kątów zakrycia $K / \alpha /$ zależy przede wszystkim od wartości kąta α i bezwzględnej wysokości lotu obiektu. Wartość równoważnego promienia kuli ziemskiej $R_z = \text{const.}$

1.3. Kąty zakrycia i ich wyznaczenie

Rejon działań bojowych korpusu OPK obejmuje określony teren, który nie zawsze stanowi gładką powierzchnię. Znajdujące się na nim różne przeszkody terenowe /naturalne i sztuczne/ tworzą określone kąty zakrycia.

Wielkość zawartą między styczną do kuli ziemskiej na poziomie morza /linia horyzontu względem kuli ziemskiej/, przechodzącą przez centrum elektryczne anteny urządzenia radiolokacyjnego a linią łączącą centrum elektryczne anteny ze szczytem najwyższej przeszkody terenowej znajdującej się na drodze antena - obiekt, nazywać będziemy kątem zakrycia^{14a/} /Rys.

1.6/. Zależność na wyznaczenie zasięgu wykrywania RLS z uwzględnieniem wpływu kątów zakrycia przedstawia równanie /1.27/.



Rys.1.6. Przekrój pionowy terenu i kąty zakrycia występujące pomiędzy punktami /x, y/ oraz /x₀, y₀/.

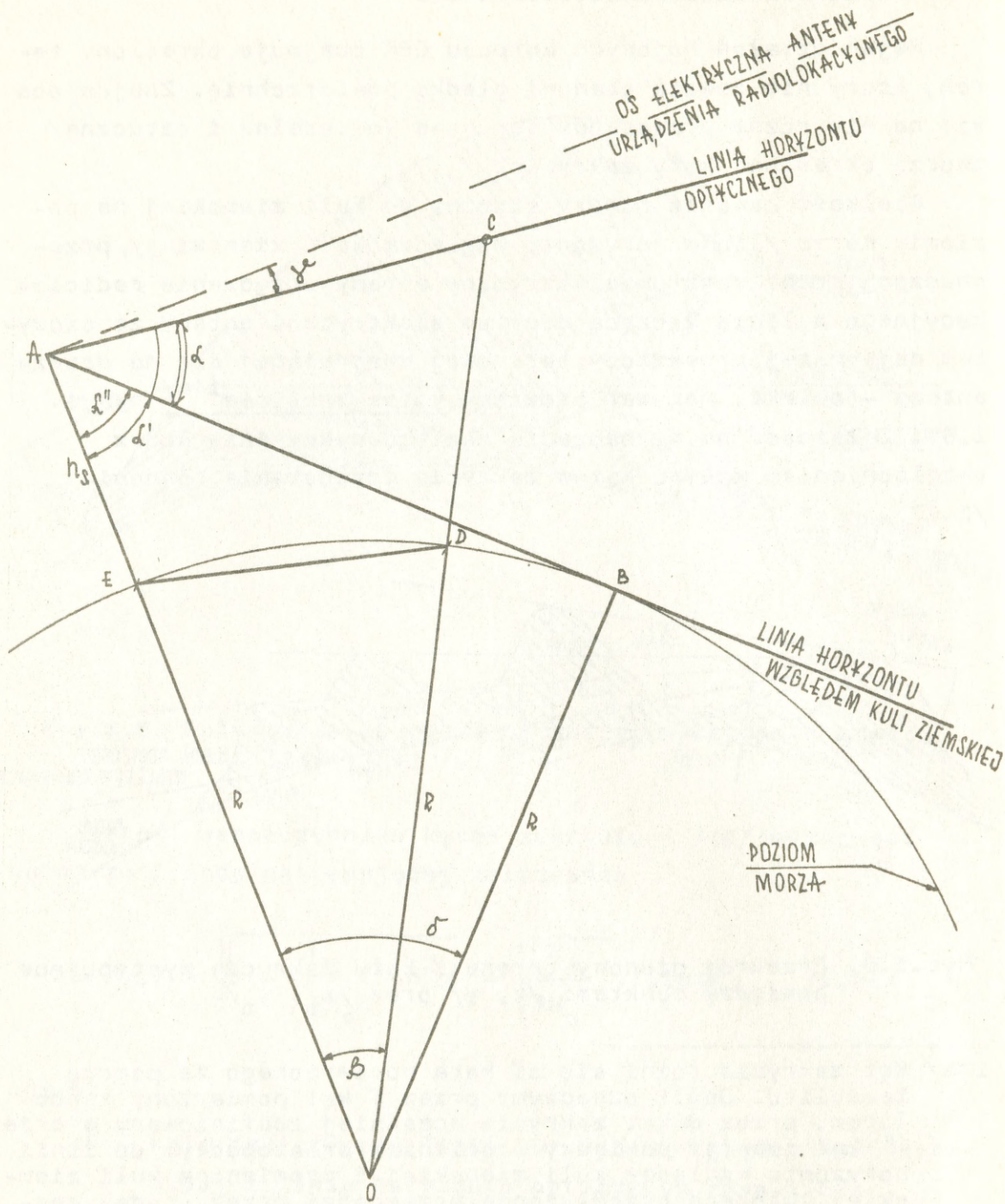
14a/ Kąt zakrycia różni się od kąta pomierzonego za pomocą teodolitu. Jeśli oznaczymy przez γ kąt pomierzony teodolitem, przez α kąt zakrycia wcześniej zdefiniowany a przez δ kąt zawarty pomiędzy promieniem prostym do linii horyzontu względem kuli ziemskiej i promieniem kuli ziemskiej, którego przedłużenie przechodzi przez środek centrum elektrycznego anteny, to zachodzi pomiędzy nimi następująca relacja

$$\delta = \alpha + \gamma$$

Stąd wielkość kąta pomierzona teodolitem względem kąta zakrycia wynosi

$$\gamma = \delta - \alpha$$

Powyższe rozważania ilustruje rys.1.7.



Rys.1.7. Określanie kąta zakrycia.

Wyznaczanie kątów zakrycia dla dowolnej pozycji radiolokacyjnej stwarza pewne trudności. W strefie bliższej pozycji [44] znajdującej się w okręgu o promieniu

$$R_{sb} = 23,3 \frac{h_a^2}{\lambda} , \quad /1.29/$$

która wpływa bezpośrednio na kształtowanie charakterystyki promieniowania stacji radiolokacyjnej, kąty zakrycia wyznaczyć można poprzez wykonanie pomiarów za pomocą teodolitu. Pomiar kątów przeprowadzić można na wybranych /charakterystycznych/ kierunkach lub dookoła z określoną dyskretnością /np. co $\Delta\beta = \frac{360^\circ}{n}$, gdzie n jest wielkością zależną od wymaganej dyskretności pomiaru/.

Pomiar kątów zakrycia w strefie dalszej, mającej istotny wpływ na zasięg wykrywania i ciągłość śledzenia obiektów na małych wysokościach, wykonuje się na podstawie mapy [44].

Wyznaczenie wartości kąta zakrycia α pomiędzy dwoma dowolnymi punktami o współrzędnych $/x_s, y_s, h_s/$ i $/x_p, y_p, h_p/$ dokonamy w oparciu o zależności trygonometryczne i znany wzór Carnota.

W związku z tym założymy, że odległość d_p pomiędzy wspomnianymi punktami określona na powierzchni kuli ziemskiej z zależności

$$d_p = \sqrt{/x_p - x_s/^2 + /y_p - y_s/^2} \quad /1.30/$$

jest w przybliżeniu równa cięciwie łuku ED /Rys.1.7/.

Korzystając z rysunku, można zauważyć, że interesujący nas kąt zakrycia α stanowi różnicę kątów α' i α'' .

Wartość kąta α'' możemy wyznaczyć z trójkąta prostokątnego ABO z następującej zależności

$$\alpha'' = \arcsin \frac{R}{R+h_s} . \quad /1.31/$$

Wartość kąta α' wyznaczyć możemy z trójkąta AOC korzystając z wzorów Carnota. W tym celu wyznaczymy najpierw wartość kąta β oraz bok AC. Wartość kąta β określić można z trójkąta EOD z zależności

$$\beta = 2 \arcsin \frac{d_p}{2R} \quad /1.32/$$

Wartość boku AC obliczamy z trójkąta AOC z zależności

$$AC = \sqrt{(R+h_s)^2 + (R+h_p)^2 - 2(R+h_s)(R+h_p) \cos \beta}$$

Z tego samego trójkąta wyznaczamy wartość kąta α' z zależności

$$\alpha' = \arccos \frac{R+h_s - (R+h_p) \cos \beta}{\sqrt{(R+h_s)^2 + (R+h_p)^2 - 2(R+h_s)(R+h_p) \cos \beta}} \quad /1.33/$$

Odejmując zależności /1.33/ i /1.31/ od siebie i podstawiając za β /1.32/, otrzymamy ostateczną postać równania na wyznaczenie wartości kąta zakrycia

$$\alpha = \arccos \frac{R+h_s - (R+h_p) \cos \left(2 \arcsin \frac{d_p}{2R} \right)}{\sqrt{(R+h_s)^2 + (R+h_p)^2 - 2(R+h_s)(R+h_p) \cos \left(2 \arcsin \frac{d_p}{2R} \right)}} - \arcsin \frac{R}{R+h_s} \quad /1.34/$$

gdzie:

- h_s - bezwzględna wysokość elektrycznego centrum anteny RLS;
- h_p - bezwzględna wysokość przeszkody terenowej;
- d_p - odległość pomiędzy punktem stania RLS a przeszkodą terenową.

Analizując zależność /1.34/ można zauważyć, że na wielkość kąta zakrycia zasadniczy wpływ posiada wysokość zawieszenia elementu promieniującego anteny RLS, wysokość przeszkody terenowej oraz jej odległość od punktu stania stacji.

W rozdziale tym przedstawiono tylko zasadnicze zależności dotyczące opisu pola radiolokacyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych na małych wysokościach. Przeprowadzono ich dyskusję, pod kątem możliwości wykorzystania do oceny pola radiolokacyjnego metod stosowanych przez badania operacyjne

oraz możliwości wykorzystania do jego oceny elektronicznej techniki obliczeniowej.

2. BADANIA OPERACYJNE I MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA ICH METOD DO OCENY POLA RADIOLOKACYJNEGO

Rozwiązanie określonego problemu możliwe jest przy odpowiedniej znajomości i umiejętnym zastosowaniu właściwej metody badawczej. Celem badań jest uzyskanie odpowiedzi na jedno, lub kilka pytań dotyczących badanego fragmentu rzeczywistości. Badanie to określone jest przez takie elementy jak: cel badań i metody rozwiązania problemu oraz narzędzia umożliwiające ich zastosowanie.

Dla rozwiązywania wielu problemów z dziedziny wojskowej, coraz szersze zastosowanie znajdują metody badań operacyjnych, które stanowią część składową ogólniejszej nauki-cybernetyki.

Dotychczas brak jest jeszcze jednoznacznie ustalonej i ogólnie przyjętej definicji badań operacyjnych. Większość jednak ze stosowanych określeń niewiele różni się między sobą. Oto niektóre z nich.

"Badania operacyjne polegają na zastosowaniu zasad, metod i środków naukowych do rozwiązywania zadań dotyczących działania systemów w celu dostarczenia optymalnych rozwiązań czynnikom odpowiadającym za kierowanie tymi systemami" [13].

"Badaniami operacyjnymi nazywa się specjalną naukę zajmującą się racjonalnymi sposobami organizacji świadomej działalności ludzkiej" [51].

"Podstawowym zadaniem badań operacyjnych jest poszukiwanie najlepszych lub chociażby zadowalających sposobów osiągnięcia wyznaczonych celów" [23].

"W badaniach operacyjnych operuje się różnymi ilościowymi kryteriami efektywności /ekonomicznej, bojowej itp./ i dąży się do optymalnych rozwiązań z uwagi na te kryteria" [16].

Abstrahując od analizowania tych i wielu innych definicji badań operacyjnych, podkreślimy podstawowe cechy tej dziedziny nauki. Badania operacyjne zapewniają opracowanie liczbowych podstaw, niezbędnych do powzięcia decyzji, jednak nie

opracowują samych decyzji. W trakcie ich podejmowania bowiem, niezbędne jest często wykorzystywanie nagromadzonych doświadczeń i uwzględnianie czynników, które trudno jest przedstawić w formie wartości liczbowych. W wojsku istotną rolę w procesie podejmowania decyzji, odgrywają indywidualne cechy dowódcy, takie jak: wola, doświadczenie, intuicja.

W badaniach operacyjnych zasadniczą rolę odgrywa systemowe ujmowanie problemu, polegające na tym, że działalność dowolnego elementu systemu wywiera pewien wpływ na działanie wszystkich pozostałych elementów. Zasada ta opiera się na znanej tezie materializmu dialektycznego, z której wynika, że przy ocenie dowolnej decyzji /lub przedsięwzięcia/ niezbędne jest określenie wszystkich istotnych wzajemnych powiązań i ustalenie ich wpływu na zachowanie się całego systemu, a nie tylko jednego jego elementu. Należy podkreślić, że chodzi tu o powiązania istotne, a nie powiązania w ogóle.

Mówiąc inaczej, badania operacyjne wymagają, by przy rozpatrywaniu jakiegokolwiek zagadnienia wycinkowego, oceniać, jak ta lub inna decyzja może wpłynąć na cały system, a zarazem unikać komplikowania badań rozpatrywaniem powiązań nieistotnych.

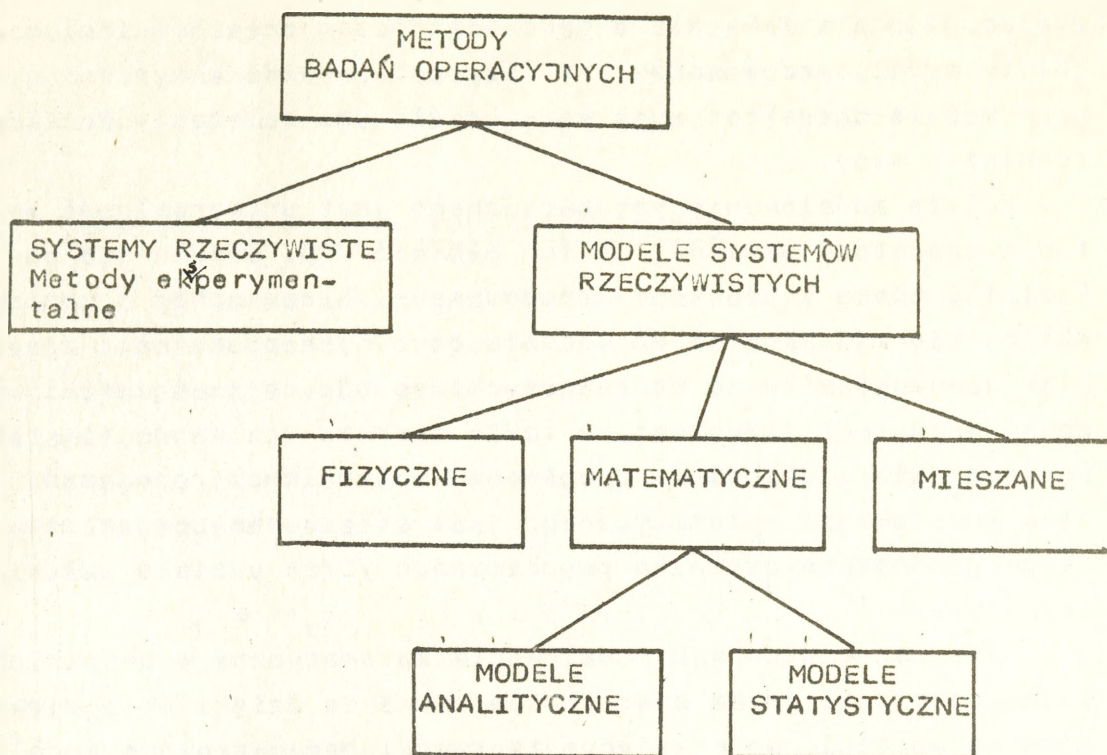
Istota metody badań operacyjnych sprowadza się do [15]:

- sformułowania zadania;
- budowy modelu matematycznego;
- znalezienie optymalnego rozwiązania za pomocą modelu /rozwiązanie w sensie matematycznym, a nie wojskowym/;
- sprawdzenie modelu oraz otrzymanego rozwiązania, skorygowanie modelu.

Z dotychczasowego opisu badań operacyjnych wynika, że w tej dyscyplinie naukowej wielką rolę odgrywa matematyka. Niekiedy o badaniach operacyjnych mówi się, że jest to zmatematyzowany zdrowy rozsądek.

Metody badań operacyjnych stosować można zarówno do badania systemów /zjawisk, procesów/rzeczywistych./prowadzić badania eksperymentalne/, jak również i ich modelu /Rys.2.1/.

Badanie systemów rzeczywistych, takich jakim jest między innymi system radiolokacyjny a w nim podsystem zapewniający utworzenie określonego pola radiolokacyjnego nie zawsze jest



Rys.2.1. Ogólna charakterystyka metod badań operacyjnych.

możliwe i celowe /np. w okresie prowadzenia działań bojowych, gdy zniszczeniu uległy niektóre elementy ugrupowanie i zachodzi konieczność odtworzenia naruszonego pola za pomocą nowych środków w ograniczonym czasie; w czasie ćwiczeń i gier wojennych; dla celów dydaktycznych/.

Podstawowym sposobem badań operacyjnych jest jednak badanie modelu systemów /zjawisk, procesów/ rzeczywistych.

Istnieją trzy podstawowe sposoby modelowania: matematyczny, fizyczny i mieszany. Modele matematyczne różnią się od rzeczywistości istotą fizyczną i kształtem geometrycznym, zaś ich podobieństwo polega na tym, że opisuje się różne zjawiska za pomocą tych samych równań. Modele fizyczne są zgodne z rzeczywistością pod względem sensu fizycznego i kształtu geometrycznego, zaś różnią się od rzeczywistości wymiarami, prędkościami przebiegów i innymi dokładnie uwzględnianymi właściwościami. Modele mieszane stanowią połączenie modelu matematycznego z modelem fizycznym, przy czym najtrudniejsza część

procesu lub zjawiska nie dająca się opisać zależnościami matematycznymi, modelowana jest fizycznie. Każda z wymienionych grup modeli charakteryzuje się określonymi zaletami. Posiada również i wady.

Zaletą modelowania matematycznego jest uniwersalność metod i aparatury używanej do ich badania /np. poczynając od kartki papieru i ołówka a kończąc na elektronicznej technice obliczeniowej/. Możliwość badania dowolnych procesów i zjawisk włącznie z tymi, które dotychczas nie dają się zrealizować w postaci fizycznej, a także szersze możliwości i stosunkowo duża prostota w uzyskiwaniu optymalnych rozwiązań. Wadą modelowania matematycznego jest stosowanie uproszczeń, nieuwzględnianie czynnika psychicznego /brak udziału człowieka/ itp..

Mimo widocznych wad modelowanie matematyczne w ostatnich latach znajduje coraz szersze zastosowanie dzięki osiągnięciom matematyki, pozwalającym tworzyć i badać złożone modele, a także dzięki rozwojowi elektronicznej techniki obliczeniowej.

Ogólnie model matematyczny stanowi układ równań matematycznych i reguł logicznych, za pomocą których, można dla każdego wybranego wariantu warunków - przy danych parametrach - obliczyć wartość funkcji kryterium.

W celu przeprowadzenia oceny pola radiolokacyjnego w pracy wykorzystamy ogólną metodologię przyjętą w teorii badań operacyjnych. Dla rozwiązania sformułowanych problemów badawczych wykorzystane zostaną metody wyspecjalizowanych teorii takich jak: modelowanie matematyczne, rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna, teoria gier, teoria podejmowania decyzji.

3. MODEL MATEMATYCZNY POLA RADIOLOKACYJNEGO BRYGADY RADIOTECHNICZNEJ

Zbudowanie modelu matematycznego wymaga formalizacji niektórych pojęć modelowanego fragmentu rzeczywistości. W rozdziale pierwszym przedstawiono ogólną charakterystykę pola radiolokacyjnego i jego podstawowe zależności. W niniejszym

rozdziale podamy sformalizowany opis pojęć potrzebnych do budowy modelu matematycznego pola radiolokacyjnego brygady radiotechnicznej. Pokażemy także sposób jego rozwiązania.

3.1. Ugrupowanie brygady radiotechnicznej

Przez ugrupowanie brygady radiotechnicznej rozumieć będziemy rozmieszczenie w rejonie obrony korpusu OPK pododdziałów radiotechnicznych, w celu utworzenia określonego pola radiolokacyjnego.

Powiemy, że określone jest ugrupowanie BRT, jeśli dany jest następujący wektor

$$P_b = /P_k/, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad /3.1/$$

gdzie:

P_k - ugrupowanie k-tej krt.

Uważamy, że określone jest ugrupowanie kompanii radiotechnicznej, jeśli dane są współrzędne prostokątne i bezwzględna wysokość pozycji technicznej oraz jej wyposażenie w urządzenia radiolokacyjne.

Dowolną krt można więc przedstawić za pomocą następującego wektora

$$P_k = /WPT_k, WPR_k/, \quad /3.2/$$

gdzie:

WPT_k - współrzędne kompanii radiotechnicznej;

WPR_k - wyposażenie krt w sprzęt radiolokacyjny.

Współrzędne kompanii radiotechnicznej przedstawiać będziemy za pomocą wektora

$$WPT_k = /x_k, y_k, h_k/ \quad /3.3/$$

gdzie:

x_k, y_k - współrzędne prostokątne /topograficzne/ krt;

h_k - bezwzględna wysokość pozycji technicznej krt.

Charakterystykę wyposażenia w sprzęt radiolokacyjny krt podajemy za pomocą wektora

$$WPR_k = /t_1, \dots, t_{l_1}, t_{l_1+1}, \dots, t_L/, \quad /3.4/$$

gdzie:

t_1, \dots, t_{l_1} - wyposażenie krt w stacje radiolokacyjne typu odległościomierz;

t_{l_1+1}, \dots, t_L - wyposażenie krt w stacje radiolokacyjne typu wysokościomierz.

Przy czym $t_1 = 0, 1, \dots$ w zależności od ilości stacji radiolokacyjnych danego typu znajdujących się w wyposażeniu krt.

3.2. Charakterystyka stacji radiolokacyjnych

Dla potrzeb modelowania pola radiolokacyjnego, stacje radiolokacyjne scharakteryzujemy poprzez takie pojęcia jak: współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego, wyposażenie w urządzenie tłumienia ech stałych oraz promień strefy martwej.

Powiemy, że mamy scharakteryzowane stacje radiolokacyjne znajdujące się w wyposażeniu ugrupowania BRT, jeśli dany będzie następujący wektor

$$SRL = /K, TES, RSM/, \quad /3.5/$$

przy czym

K - macierz współczynników wykorzystania horyzontu radiowego;

TES - wektor współczynników tłumienia ech stałych;

RSM - wektor promieni stref martwych.

Sposób określania współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego przedstawiono w rozdziale pierwszym. Wartości współczynników w zależności od typu stacji radiolokacyjnej oraz wielkości skutecznej powierzchni odbicia obiektu przedstawimy za pomocą następującej macierzy:

$$K = /K_{1m}/, \quad \begin{array}{l} l = 1, 2, \dots, L \\ m = 1, 2, \dots, M \end{array} \quad /3.6/$$

gdzie:

K_{1m} - średnia wartość współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego l-tej stacji radiolokacyjnej w zależności od wartości skutecznej powierzchni odbicia m.

Istnienie odbić od przedmiotów terenowych oraz konieczność przeciwdziałania zakłóceniom pasywnym stosowanym przez ŚNP przeciwnika, zmusiła konstruktorów RLS, do wyposażenia ich w urządzenia eliminacji tych zakłóceń /urządzenie TES/. Włączenie tych urządzeń, powoduje jednocześnie zmniejszenie czułości odbiornika stacji, a tym samym zmniejszenie zasięgu wykrywania. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wykrywania i śledzenia obiektów na małych wysokościach. Wpływ urządzenia tłumienia ech stałych na zasięg wykrywania RLS uwzględnimy, przez wprowadzenie współczynnika tłumienia ech stałych. Wartości współczynnika w zależności od typu stacji przedstawimy w postaci wektora

$$TES = /S_1/, \quad l = 1, 2, \dots, L \quad /3.7/$$

przy czym S_1 - współczynnik tłumienia ech stałych stacji l-tego typu $/0 \leq S_1 \leq 1/$.

Włączenie urządzenia tłumienia ech stałych, eliminuje zaświecenie od przedmiotów terenowych, nie pozwala jednak, na obserwowanie obiektów znajdujących się w niewielkiej odległości od punktu rozwinięcia stacji. Spowodowane jest to

istnieniem strefy martwej zależnej od długości czasu trwania impulsu sondującego, czasu bezwładności odbiornika i czasu potrzebnego na dokonanie oddzielnego odczytu na wskaźniku /ekranie/ stacji.

W modelu uwzględnimy to, przez wprowadzenie promienia strefy martwej w zależności od typu RLS. Wartości charakteryzujące promienie stref martwych przedstawiamy w postaci wektora

$$RSM = /R_1/, \quad l = 1, 2, \dots, L \quad /3.8/$$

gdzie:

R_1 - promień strefy martwej l-tej stacji radiolokacyjnej.

3.3. Charakterystyka zaświeceń ekranów stacji radiolokacyjnych od przedmiotów terenowych

Zaświecenia ekranu stacji radiolokacyjnej w znacznym stopniu zmniejszają możliwości wykrywania i ciągłego śledzenia obiektów powietrznych, głównie działających na małych wysokościach. Jak już zaznaczyliśmy, eliminację zaświeceń prowadzi się poprzez wyposażenie RLS w dodatkowe urządzenia. Włączenie ich jednak, powoduje ograniczenie zasięgu wykrywania. Chcąc więc, ocenić pole radiolokacyjne dla przypadku, gdy stacje pracują z wyłączonymi urządzeniami tłumienia ech stałych, należy dokonać sformalizowanego opisu zaświeceń ekranów. Problem ten na pozór prosty, nie jest zbyt łatwy w praktycznej realizacji.

Najłatwiej byłoby dokonać zdjęcia zaświeceń ekranu RLS na danej pozycji i potraktować je jako dane wejściowe do modelu. Jednakże przedstawione w ten sposób wartości, odzwierciedlane są w sposób analogowy, który nie nadaje się bezpośrednio do modelowania na EMC.

W związku z tym należy przejść z opisu analogowego /ciągłego/ do opisu cyfrowego /dyskretnego/. W zależności od potrzeb można to zrobić z dowolną dokładnością i przedstawić dla krt w postaci następującej macierzy

$$RZ_k = / Z_{ln} /, \quad l = 1, 2, \dots, L \quad /3.9/$$

$$n = 1, 2, \dots, N$$

gdzie:

Z_{ln} - odległość najdalszego ciągłego zaświecenia ekranu l-tej stacji w n-tym przedziale obserwowanej przestrzeni.

Przy czym przez przedział n rozumiemy taką część kąta pełnego $\Delta\alpha$, podzielonego na N części, dla której wartość $n / n=1, 2, \dots, N /$ odpowiada wycinkowi koła, który zawiera się pomiędzy punktami $/n-1/ \cdot \Delta\alpha$ i $n \cdot \Delta\alpha$. /dla $n=1$ będzie to wycinek koła zawarty pomiędzy 0^0 a $\Delta\alpha$ / - Rys.3.1.

Charakterystykę zaświeceń ekranów stacji całego ugrupowania brygady radiotechnicznej przedstawilibyśmy wtedy w postaci następującego wektora

$$RZ' = /RZ_k /, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad /3.10/$$

gdzie:

RZ_k - macierz opisana zależnością /3.9/.

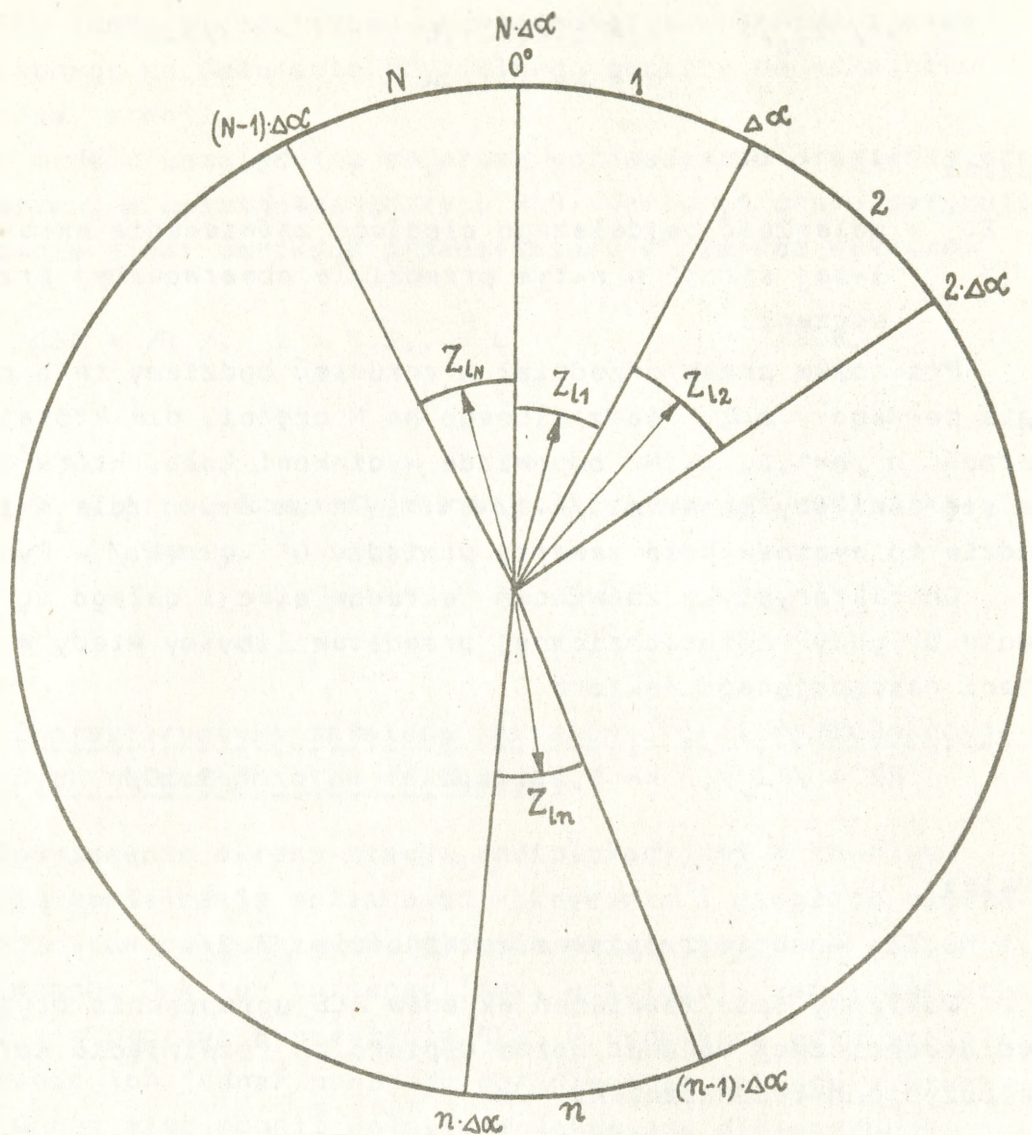
Dokładny opis zaświeceń ekranów RLS ugrupowania brygady radiotechnicznej dokonać można dopiero, po rozwinięciu sprzętu na pozycjach technicznych.

W pracy dla zmniejszenia ilości danych, opisujących zaświecenia ekranów stacji oraz nie dysponowania danymi rzeczowymi, przyjęto średni promień zaświeceń stały dla stacji danego typu rozwiniętej w k-tej kompanii radiotechnicznej. Przyjęte ograniczenie nie ma wpływu na poprawność dalszych rozważań.

W związku z przyjętym założeniem, zaświecenia ekranów RLS w ugrupowaniu BRT przedstawiać będziemy za pomocą następującej macierzy

$$RZ = /Z_{lk} /, \quad l = 1, 2, \dots, L \quad /3.11/$$

$$k = 1, 2, \dots, K$$



Rys.3.1. Opis zaświeceń ekranu wskaźnika stacji radiolokacyjnej.

gdzie:

Z_{lk} - średni promień zaświeceń ekranu stacji l-tego typu znajdującej się w wyposażeniu k-tej kompanii radiotechnicznej.

3.4. Wysokość zawieszenia elementu promieniującego anteny stacji radiolokacyjnej

Wysokość zawieszenia elementu promieniującego RLS względem wysokości terenu, na którym ugrupowana jest krt, ma wpływ na zasięg wykrywania i ciągłość prowadzenia obiektów. Wielkość tę scharakteryzujemy podając dla każdej RLS rozwiniętej w danej krt, wysokość względną zawieszenia elementu promieniującego anteny. Składają się na nią: wysokość zawieszenia elementu promieniującego anteny stacji oraz wysokość nasypu.

Wielkości te dla ugrupowania brygady radiotechnicznej przedstawimy w postaci następującej macierzy

$$HLK = /h_{lk}/, \quad \begin{matrix} l = 1, 2, \dots, L \\ k = 1, 2, \dots, K \end{matrix} \quad /3.12/$$

gdzie:

h_{lk} - wysokość względną elementu promieniującego anteny stacji l-tego typu w k-tej krt.

Dla dalszych rozważań przyjmiemy, że nie będziemy uwzględniać wpływu strefy bliższej pozycji radiolokacyjnej na zasięg wykrywania i śledzenia obiektów przez dany typ stacji. Wpływ ten uwzględniany jest pośrednio, przy określaniu wartości współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego. Założymy także, że wykrywanie i śledzenie obiektów powietrznych realizowane jest przy zerowych kątach pochylecia układu antenowego.

3.5. Charakterystyka terenu

Stwierdziliśmy, że zasięg wykrywania i ciągłość śledzenia obiektów na małych wysokościach za pomocą stacji radiolokacyjnych zależy, między innymi, od ukształtowania terenu. W modelu matematycznym pola radiolokacyjnego będziemy to uwzględniać, przez wprowadzenie współczynnika kątów zakrycia. Wyznaczenie jego, za pomocą EMC wymaga, przedstawienia rzeźby terenu w postaci dogodnej do obliczeń.

Teren modelować będziemy podobnie, jak to przedstawiono w pracach [19], [47], przy pomocy trójwymiarowego układu

współrzędnych. Układ współrzędnych dobiera się w taki sposób, aby osie X i Y tworzyły płaszczyznę leżącą na poziomie morza. Początek układu współrzędnych przyjmuje się w taki sposób, aby współrzędne rejonu działań bojowych korpusu OPK były dodatnie.

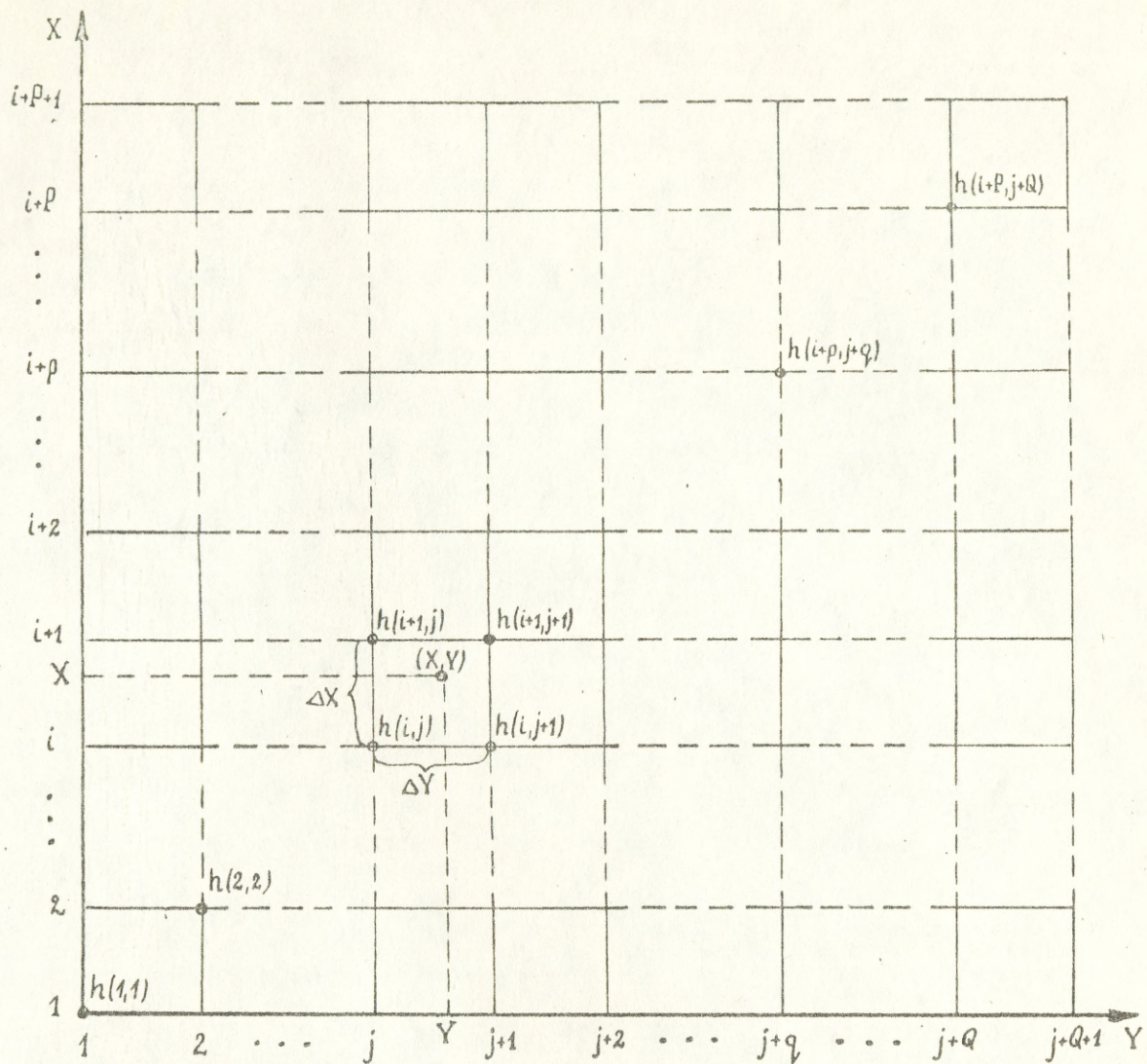
W tym celu na płaszczyznę X-Y nakłada się siatkę prostokątną /kartezjańską/. Wysokość terenu opisuje się w punktach przecinania się linii siatki^{15/} /Rys.3.2/. Punkty przecinania się linii siatki nazywać będziemy węzłami siatki. W węzle siatki odzwierciedlać będziemy największą wysokość przeszkody terenowej danego prostokąta, którego jest on środkiem. Wysokość tę nazywać będziemy wysokością charakterystyczną elementarnego prostokąta. Jednocześnie węzeł siatki uważać będziemy za środek tego prostokąta. Dobierając odpowiednio wielkości boków elementarnego prostokąta siatki / ΔX , ΔY /, można z dowolną dokładnością opisać modelowany teren. Maksymalny błąd wynikający z oznaczania wysokości charakterystycznej dla dowolnego punktu elementarnego prostokąta siatki wynosi

$$\Delta h = \pm \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

Określanie wysokości na podstawie tak wykonanego opisu, odbywa się następująco: Dla punktu leżącego w węzle siatki przyjmuje się wysokość taką, jaka jest przypisana danemu węzłowi. Wysokość terenu w punkcie, który nie leży w węzle siatki, określa się, po obliczeniu średniej ważonej wysokości czterech sąsiednich węzłów siatki /dla punktu leżącego wewnątrz prostokąta siatki/. W przypadku punktu leżącego na linii siatki, wysokość określa się na podstawie średniej ważonej wysokości dwóch sąsiednich węzłów.

Metoda obliczania średnich ważonych jest tak dobrana, aby dawała równomierną i ciągłą zmianę składnika determinacyjnego cechy charakterystycznej na obszarze prostokąta siatki oraz płaszczyznę ciągłą łączącą poszczególne prostokąty siatki.

15/ Oznaczyliśmy przez X oś rzędnych, natomiast przez Y oś odciętych, podobnie jak jest to przyjęte w topografii.



Rys.3.2. Siatka prostokątna w płaszczyźnie X-Y.

Tak więc dla scharakteryzowania terenu, tworzymy siatkę, składającą się z dwóch prostopadłych układów jednakowo odległych od siebie równoległych linii

$$X_i = i \cdot \Delta X, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad /3.13/.$$

$$Y_j = j \cdot \Delta Y, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

gdzie:

$\Delta X, \Delta Y$ - podstawowe wymiary elementarnego prostokąta przyjętej siatki.

Linie oznaczone przez X_i , są liniami wyznaczającymi rzędy siatki /linie rzędów siatki/. Linie oznaczone zaś przez Y_j , są liniami wyznaczającymi kolumny siatki /linie kolumn siatki/. Punkt $/i, j/$ jest określony przez współrzędne $/X_i, Y_j/$. Każdy punkt terenu jest związany z prostokątem siatki $\Delta X \cdot \Delta Y$, określonym przez cztery jego punkty $\{/i, j/, /i, j+1/, /i+1, j/, /i+1, j+1/\}$. Z czterech punktów siatki wyznaczających elementarny prostokąt, punkt $/i, j/$ uważać będziemy za podstawowy węzeł siatki.

Podstawowy węzeł siatki związany z dowolnym punktem $/X, Y/$ określa się z zależności /3.13/ oraz przez określenie wartości składowych $/i, j/$ z zależności^{16/}

$$i = E \left[\frac{X}{\Delta X} \right] \quad /3.14/$$

$$j = E \left[\frac{Y}{\Delta Y} \right];$$

gdzie:

X, Y - współrzędne prostokątne punktu $/X, Y/$.

Oznaczmy przez h_{ij} wysokość w węźle siatki $/i, j/$, wówczas wysokość deterministyczną $h_d /X, Y/$ w punkcie $/X, Y/$ wewnątrz prostokąta siatki o podstawowym węźle $/i, j/$ określa się z zależności

$$h_d /X, Y/ = w_{ij} \cdot h_{ij} + w_{ij+1} \cdot h_{ij+1} + w_{i+1j} \cdot h_{i+1j} + w_{i+1j+1} \cdot h_{i+1j+1}, \quad /3.15/$$

przy czym

$$w_{ij} = \left(1 - \frac{X - X_i}{\Delta X} \right) \cdot \left(1 - \frac{Y - Y_j}{\Delta Y} \right)$$

$$w_{ij+1} = \left(1 - \frac{X - X_i}{\Delta X} \right) \cdot \frac{Y - Y_j}{\Delta Y}$$

16/ Dla $\psi > 0$, $E[\psi]$ jest największą nieujemną liczbą całkowitą, nie większą niż ψ .

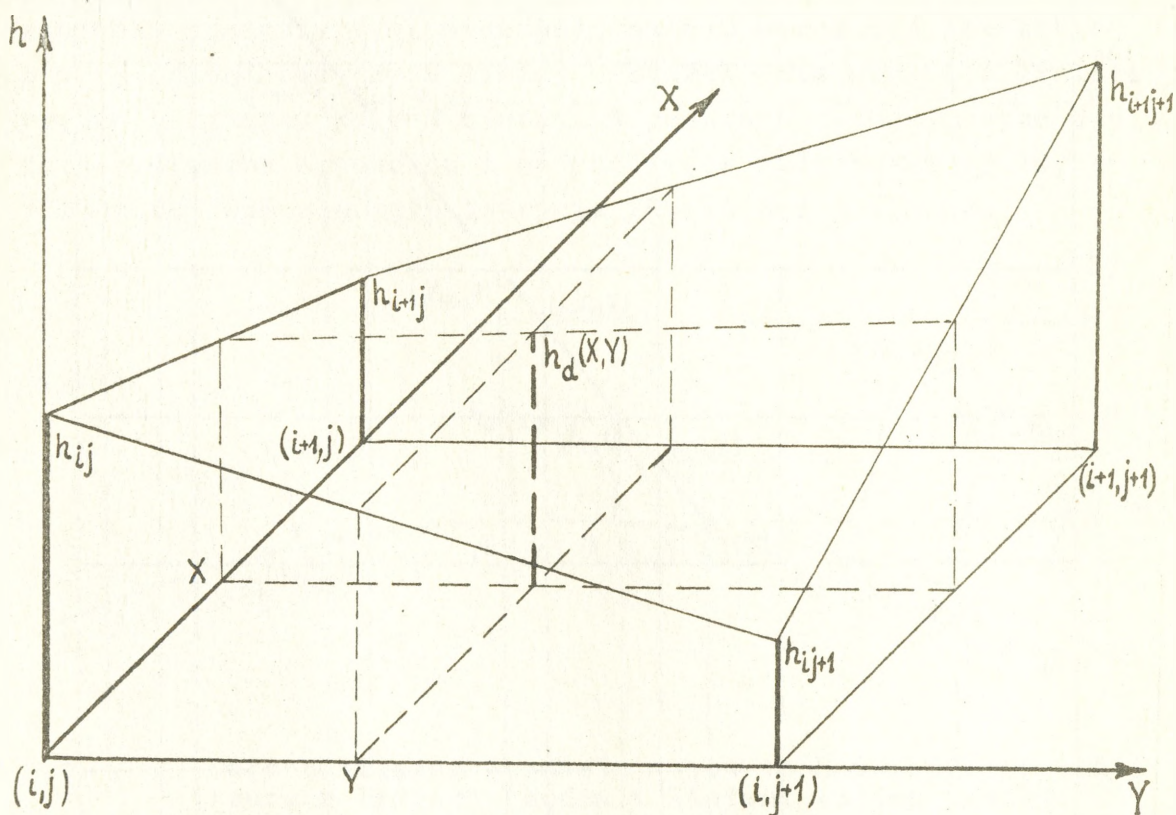
$$w_{i+1j} = \frac{X - X_i}{\Delta X} \cdot \left/ 1 - \frac{Y - Y_j}{\Delta Y} \right/$$

$$w_{i+1j+1} = \frac{X - X_i}{\Delta X} \cdot \frac{Y - Y_j}{\Delta Y} ,$$

gdzie:

X_i, Y_j - współrzędne podstawowego węzła siatki.

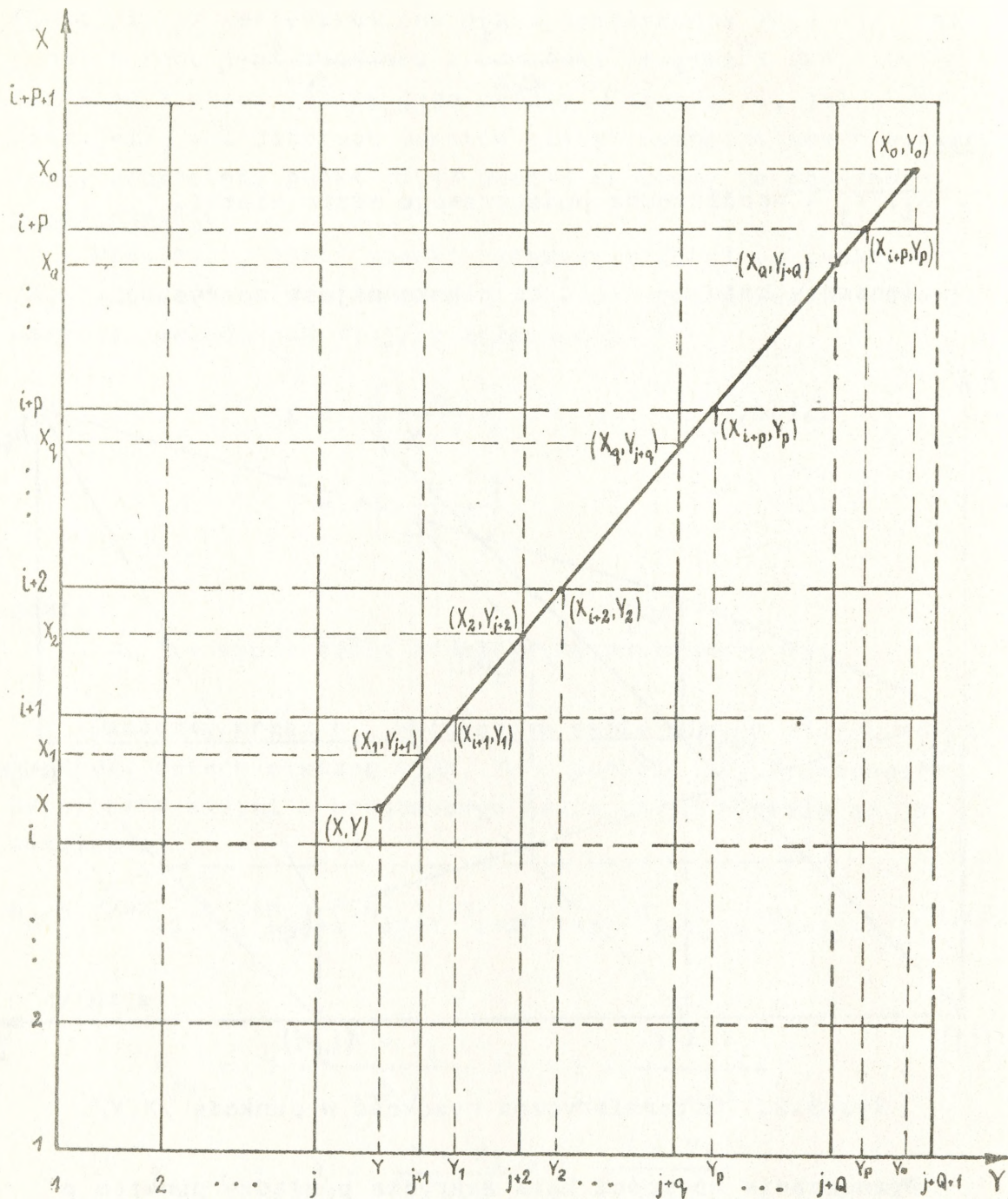
Schematycznie wysokość ta pokazana jest na rys.3.3.



Rys.3.3. Determistyczna wysokość w punkcie $/X, Y/$.

Wyznaczenie wartości kąta zakrycia pomiędzy punktem o współrzędnych $/X, Y/$ oraz punktem o współrzędnych^{17/} $/X_0, Y_0/$, przeprowadza się następująco.

17/ Wyznaczenie wartości kąta zakrycia odbywa się w punkcie $/X, Y/$ w kierunku punktu $/X_0, Y_0/$. Wartość kąta wyznaczona w punkcie $/X_0, Y_0/$ w kierunku punktu $/X, Y/$ może zupełnie się różnić od wartości pierwszego kąta.

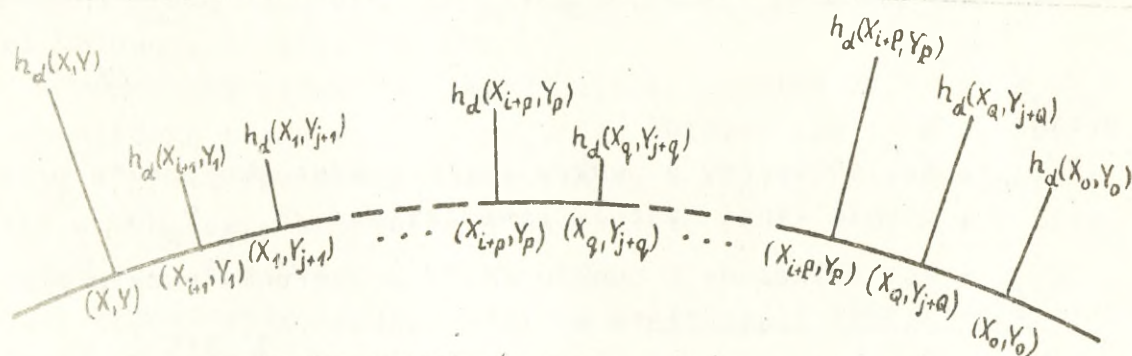


Rys.3.4. Rzut linii łączącej punkty (X, Y) i (X_0, Y_0) na płaszczyźnie siatki.

Sprawdza się, czy obydwie punkty należą do tego samego prostokąta siatki, czy też do dwóch różnych prostokątów. Jeśli punkty te należą do tego samego prostokąta siatki, to na podstawie zależności /3.14/ i /3.15/ wyznacza się ich wysokości deterministyczne oraz z równania /1.34/ wylicza wartość kąta zakrycia. Odległość pomiędzy tymi punktami określa się z zależności

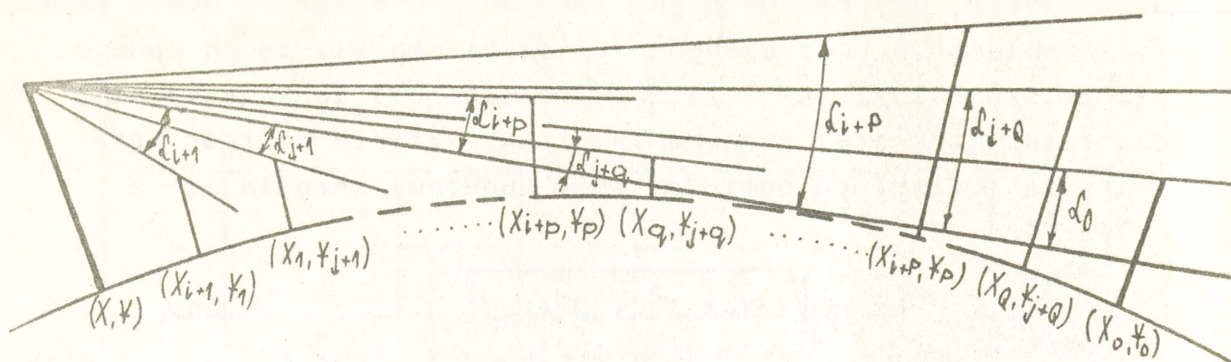
$$d_p = \sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2} \quad /3.16/$$

Jeśli punkty (X, Y) i (X_0, Y_0) nie należą do tego samego prostokąta siatki /Rys.3.4/, to dla wyznaczenia wartości kąta zakrycia pomiędzy tymi punktami, należy wyznaczyć wszystkie punkty przecięcia rzutu linii^{18/} łączącej te punkty z liniami rzędów i liniami kolumn siatki. W punktach tych wyznacza się deterministyczne wysokości i na podstawie zależności /3.16/ i /1.34/ oblicza się kąty zakrycia /Rys.3.5 i Rys.3.6/.



Rys. 3.5. Deterministyczna wysokość w punktach przecięcia linii rzutu z liniami rzędów i liniami kolumn siatki.

18/ Rzut linii łączącej punkty (X, Y) i (X_0, Y_0) nazywać będziemy dalej linią rzutu.



Rys.3.6. Kąty zakrycia dla deterministycznych wysokości w punktach przecięcia linii rzutu z liniami rzędów i liniami kolumn siatki.

Z obliczonych kątów zakrycia wyznacza się następnie kąt zakrycia z zależności

$$\alpha = \max / \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_{i+p}, \dots, \alpha_{i+p}, \alpha_{j+1}, \dots, \alpha_{j+q}, \dots, \alpha_{j+q}, \dots, \alpha_0 /,$$

/3.17/

gdzie:

α_{i+p} - kąt obliczony z punktu $/X, Y/$ w kierunku punktu przecięcia linii rzutu z linią rzędów $/X_{i+p}, Y_p/$;

α_{j+q} - kąt obliczony z punktu $/X, Y/$ w kierunku punktu przecięcia linii rzutu z linią kolumn $/X_q, Y_{j+q}/$;

α_0 - kąt określony z punktu $/X, Y/$ w kierunku punktu $/X_0, Y_0/$.

Sprawdzenia, czy punkty o współrzędnych $/X, Y/$ i $/X_0, Y_0/$ leżą w tym samym prostokącie siatki dokonuje się przez obliczenie nierówności^{19/}

19/ Dla dwóch różnych liczb a i b , $|a-b|$ oznacza wartość bezwzględną różnicy tych liczb.

$$\left| /E \left[\frac{X}{\Delta X} \right] + r / \cdot \Delta X - X \right| \geq |X - X_0| \quad /3.18/$$

$$\left| /E \left[\frac{Y}{\Delta Y} \right] + s / \cdot \Delta Y - Y \right| \geq |Y - Y_0| ,$$

przy czym

$$r = \begin{cases} 1 & \text{dla } X - X_0 \leq 0 \\ 0 & \text{dla } X - X_0 > 0 \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} 1 & \text{dla } Y - Y_0 \leq 0 \\ 0 & \text{dla } Y - Y_0 > 0 \end{cases}$$

Jeżeli nierówności /3.18/ są spełnione, wówczas punkty $/X, Y/$ i $/X_0, Y_0/$ należą do tego samego prostokąta siatki. Jeżeli co najmniej jedna z nierówności /3.18/ nie jest spełniona, wówczas punkty te należą do dwóch różnych prostokątów siatki. Należy wtedy wyznaczyć punkty przecięcia linii rzutu z liniami kolumn i liniami rzędów.

Oznaczmy podstawowe węzły siatki punktów $/X, Y/$ i $/X_0, Y_0/$ odpowiednio przez $/i, j/$ i $/i_0, j_0/$. Załóżmy, że $i_0 = i + p$, a $j_0 = j + q$ /ponieważ punkty $/X, Y/$ i $/X_0, Y_0/$ nie znajdują się w tym samym prostokącie siatki, to dla $p = 0, q \neq 0$ oraz dla $q = 0, p \neq 0/$.

Przecinanie się linii rzutu z liniami rzędów siatki określa się w sposób następujący.

Linie nie przecinają się, jeżeli $q = 0$. W innym przypadku podstawiamy

$$\Delta X' = X_0 - X \quad /3.19/$$

$$\Delta Y' = Y_0 - Y$$

Wtedy punkty przecięcia tworzą następujący zbiór

$$/X_q, Y_{j+q}/ = /X + \delta X_q, Y_{j+q}/ , \quad /3.20/$$

przy czym

$$\delta x_q = \frac{\Delta x'}{\Delta y'} / y_{j+q} - y/.$$

dla

$$q = 1, 2, \dots, Q \quad \text{przy } Q > 0$$

lub

$$q = 0, -1, -2, \dots, Q+1 \quad \text{przy } Q < 0$$

W podobny sposób określa się zbiór punktów przecięcia linii rzutu z liniami kolumn siatki.

Jeśli $P = 0$, to zbiór punktów przecięcia jest pusty /nie istnieją punkty przecięcia/. W innym przypadku wyznacza się ten zbiór z zależności

$$/x_{i+p}, y_p/ = /x_{i+p}, y + \delta y_p/, \quad /3.21/$$

przy czym

$$\delta y_p = \frac{\Delta y'}{\Delta x'} /x_{i+p} - x/.$$

dla

$$p = 1, 2, \dots, P \quad \text{przy } P > 0$$

lub

$$p = 0, -1, -2, \dots, P+1 \quad \text{przy } P < 0.$$

Schematycznie wybrane elementy zbiorów /3.20/ i /3.21/ przedstawiono na rys.3.5.

Dla zbiorów punktów wyznaczonych na podstawie zależności /3.19/, /3.20/ i /3.21/, określa się zbiory wysokości terenu $\{/h_p/, p = 1, 2, \dots, P; /h_q/, q = 1, 2, \dots, Q\}$ za pomocą równań /3.14/ i /3.15/. Następnie korzystając z wzorów /3.16/, /1.34/ i /3.17/, oblicza się wartość kąta zakrycia.

Wyznaczenie zbiorów punktów /3.20/ i /3.21/ za pomocą EMC wymaga określenia wartości liczb P i Q .

Wartości ich określa się na podstawie następujących równań

$$P = E \left[\frac{X_0}{\Delta X} \right] - E \left[\frac{X}{\Delta X} \right] + r_0 \quad /3.22/$$

$$Q = E \left[\frac{Y_0}{\Delta Y} \right] - E \left[\frac{Y}{\Delta Y} \right] + s_0 ,$$

przy czym

$$r_0 = \begin{cases} -1 & \text{dla } X - X_0 \geq 0 \\ 0 & \text{dla } X - X_0 < 0 \end{cases}$$

$$s_0 = \begin{cases} -1 & \text{dla } Y - Y_0 \geq 0 \\ 0 & \text{dla } Y - Y_0 < 0. \end{cases}$$

W celu wyznaczenia wartości kątów zakrycia dane o modelowanym terenie podaje się za pomocą następującej macierzy

$$H = /h_{ij}/, \quad i = 1, 2, \dots, \quad /3.23/ \\ j = 1, 2, \dots,$$

gdzie:

h_{ij} - oznacza największą bezwzględną wysokość terenu /włącznie z lasami, zabudowaniami, kompleksami przemysłowymi itp./ w prostokącie o współrzędnych

$$/i - \frac{\Delta X}{2}, j - \frac{\Delta Y}{2}/, /i + \frac{\Delta X}{2}, j - \frac{\Delta Y}{2}/,$$

$$/i - \frac{\Delta X}{2}, j + \frac{\Delta Y}{2}/, /i + \frac{\Delta X}{2}, j + \frac{\Delta Y}{2}/, \quad /Rys.3.7/$$

przy czym

$/i, j/$ - współrzędne węzła siatki odpowiadające punktowi terenu $/X_i, Y_j/$.

Przeliczenie współrzędnych dowolnego punktu $/X_b, Y_b/$, odczytanego z mapy we współrzędnych topograficznych, na współrzędne siatki $/X, Y/$, dokonuje się na podstawie następujących zależności

$$X = X_b - X_p + \Delta X \quad /3.24/$$

$$Y = Y_b - Y_p + \Delta Y,$$

gdzie:

X_p, Y_p - współrzędne topograficzne przyjęte za początek układu siatki.

Schematycznie przedstawia to rys.3.7.

3.6. Rzut rejonu działań bojowych korpusu OPK

Powiedzieliśmy, że brygada radiotechniczna prowadzi rozpoznanie i zabezpiecza pod względem radiolokacyjnym aktywne środki walki w rejonie działań bojowych korpusu OPK. Rejon ten stanowi wycinek przestrzeni powietrznej, której rzut na powierzchnię kuli ziemskiej tworzy określoną płaską figurę geometryczną. Obwód tej figury uważać będziemy za granice modelowanego terenu. W celu przedstawienia tych granic na maszynowych nośnikach informacji, figurę tę aproksymować będziemy do wieloboku wypukłego. Wielobok ten następnie opiszemy podając współrzędne jego wierzchołków.

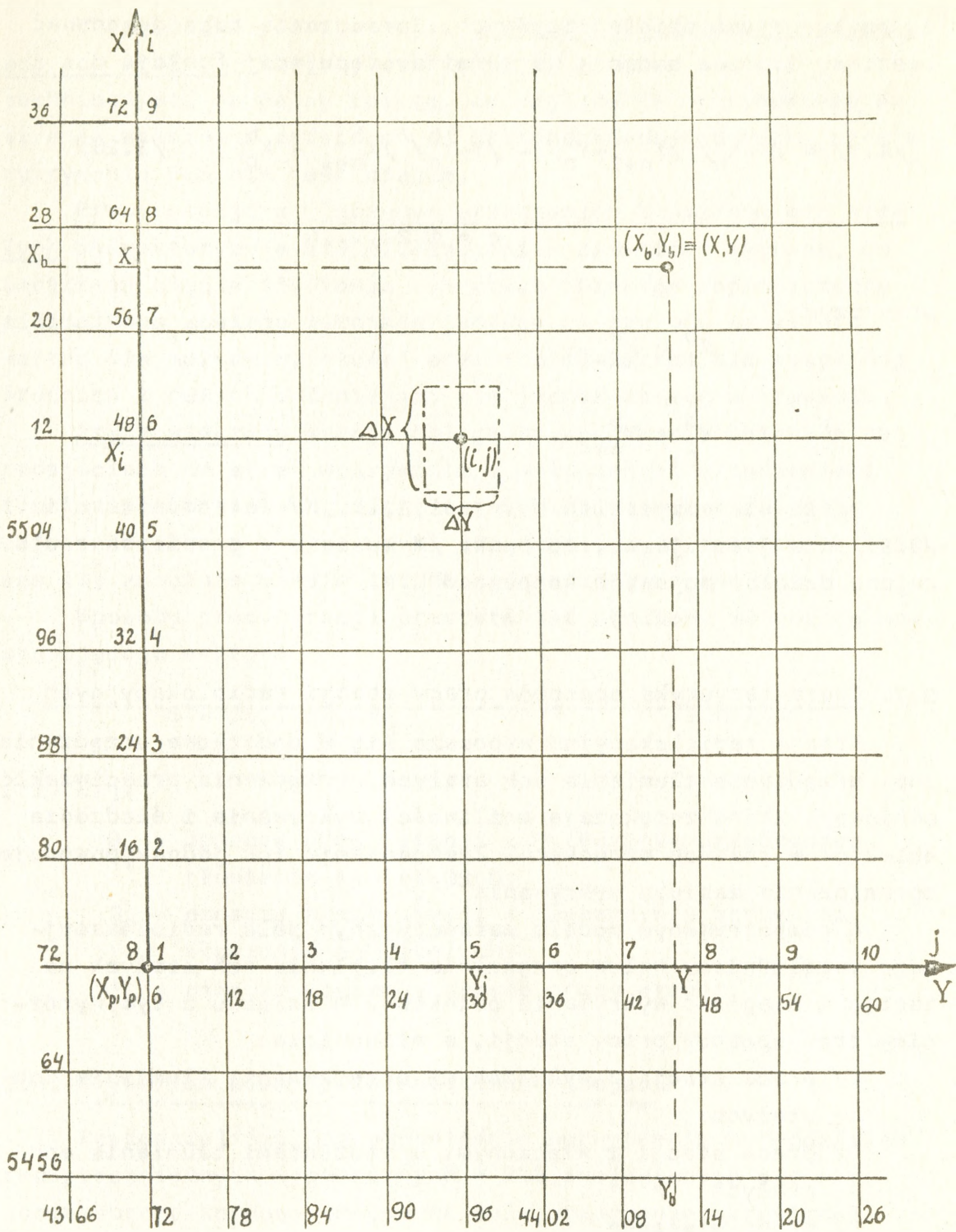
Współrzędne te zapiszemy w postaci wektora następujących par

$$RDB = /X_n^b, Y_n^b/, \quad n = 1, 2, \dots, N \quad /3.25/$$

gdzie:

X_n^b, Y_n^b - współrzędne topograficzne n-tego wierzchołka wieloboku.

Przeprowadzając ocenę pola radiolokacyjnego sprawdzając będziemy, czy dany punkt terenu o współrzędnych $/X, Y/$ należy



Rys.3.7. Wybór układu współrzędnych siatki i sposób ich przeliczania.

do rzutu rejonu działań bojowych. Sprawdzenia tego dokonywać będziemy, poprzez badanie wartości następującej funkcji

$$F_n / X, Y / = / X - X_n^b / / Y_{n+1}^b - Y_n^b / - / Y - Y_n^b / / X_{n+1}^b - X_n^b / , \quad / 3.26 /$$

$$n = 1, 2, \dots, N$$

przy czym

$$X_1^b = X_{N+1}^b$$

$$Y_1^b = Y_{N+1}^b .$$

Jeśli dla wszystkich $n / n = 1, 2, \dots, N /$ wartość funkcji /3.26/ nie jest ujemna, to punkt $/ X, Y /$ leży w granicach rzutu rejonu działań bojowych korpusu OPK.

3.7. Charakterystyka sposobów pracy stacji radiolokacyjnych

Stacje radiolokacyjne wyposaża się w dodatkowe urządzenia /np. urządzenia tłumienia ech stałych, urządzenia przeciwwzłócenieniowe/, które zwiększają możliwości wykrywania i śledzenia obiektów w różnych warunkach. Zastosowanie ich jednak, powoduje ograniczanie zasięgu wykrywania^{20/}.

W rozpatrywanym modelu matematycznym pola radiolokacyjnego uwzględniamy wpływ urządzenia tłumienia ech stałych na zasięg i ciągłość wykrywania obiektów. W związku z tym, wyróżnimy trzy sposoby pracy stacji, a mianowicie:

- 1/ praca stacji z wyłączonymi urządzeniami tłumienia ech stałych;
- 2/ praca stacji z włączonymi urządzeniami tłumienia ech stałych;
- 3/ praca mieszana.

20/ Włączenie urządzenia tłumienia ech stałych powoduje zmniejszenie zasięgu wykrywania RLS o około 15-20%. /Grzeszek E., Podstawowe problemy wykrywania i śledzenia obiektów /celów/ powietrznych na małych wysokościach przez wojska radiotechniczne w warunkach PRL, Rozprawa doktorska -wrękopisie/.

W przypadku pracy stacji z wyłączonym urządzeniem tłumienia ech stałych, obiekty wykrywane są zgodnie z możliwościami technicznymi, na pełny zasięg. Ze względu na występowanie na ekranie wskaźnika zaświeceń od przedmiotów terenowych, strefa wykrywania RLS nie jest ciągła.

Praca stacji z włączonym urządzeniem tłumienia ech stałych charakteryzuje się eliminowaniem zaświeceń ekranu, co umożliwia ciągłe śledzenie wykrytych obiektów /ograniczenie minimalnego zasięgu istnieje jedynie ze względu na strefę martwą dla małych wysokości oraz stożek martwy dla wysokości średnich i dużych/. Zmniejsza się jednak zasięg wykrywania.

Praca mieszana stacji polega, na wykrywaniu obiektów na podejściach do stref wykrywania z wyłączonymi urządzeniami tłumienia ech stałych, natomiast ich śledzenie w zakresie zaświeceń ekranu z włączonymi urządzeniami, W ten sposób zwiększa się znacznie strefa informacji radiolokacyjnej.

Sposoby pracy stacji przedstawiać będziemy za pomocą następującego wektora

$$S = /S_1, S_2, S_3/, \quad /3.27/$$

przy czym

- S_1 - oznacza pracę stacji z wyłączonym urządzeniem tłumienia ech stałych;
- S_2 - oznacza pracę stacji z włączonym urządzeniem tłumienia ech stałych;
- S_3 - oznacza mieszany sposób pracy stacji.

3.8. Kryterium oceny pola radiolokacyjnego.

Powiedzieliśmy, że odpowiednie ugrupowanie pododdziałów radiotechnicznych wyposażonych w RLS, znajdujących się w rejonie obrony korpusu OPK, ma na celu utworzenie określonej wielkości pola radiolokacyjnego. Rozmieszczenie pododdziałów /radiotechnicznych/ w rejonie obrony korpusu OPK i ich odpowiednie wyposażenie w sprzęt radiolokacyjny jest działaniem, które ma zrealizować określony cel. Aby działanie, które ma doprowadzić do realizacji celu, mogło być prowadzone, należy

dysponować pewnym zasobem środków. Na ogół środki stojące do naszej dyspozycji, mogą być użyte w różny sposób. O tym, jakie sposoby użycia tych środków są w danym przypadku możliwe, decydują warunki, w jakich działamy. Gdyby warunki w jakich działamy, przesądzały jednoznacznie, o sposobie użycia środków - sprawa byłaby prosta. Najczęściej jednak, a w każdym razie bardzo często, warunki zezwalają nam na użycie środków w różny sposób. Należy więc zdecydować, w jaki sposób zostaną użyte środki lub też o tym, jaki zespół środków - spośród stojących do dyspozycji - zostanie wybrany i użyty w działaniu prowadzącym do realizacji ustalonego celu.

Aby można było taką decyzję podjąć, należy dysponować odpowiednim kryterium, za pomocą którego istniałaby możliwość dokonania oceny i porównania skutków podjęcia takiej czy też innej decyzji. Dysponując takim kryterium, można ustalić, która z możliwych decyzji jest decyzją najlepszą /optymalną/.

Kryterium to powinno odpowiadać określonym wymaganiom, takim jak: reprezentatywność; krytyczność w stosunku do badanych parametrów; maksymalna prostota; skalanie w miarę możliwości, wszystkich podstawowych elementów badanego procesu /zjawiska/; należyte uwzględnianie stochastyczności.

Znalezienie takiego kryterium, które bez zastrzeżeń spełniałoby wszystkie wyżej wymienione postulaty, nie jest sprawą prostą, szczególnie jeśli należy je stosować do tak złożonego problemu, jakim jest pole radiolokacyjne i jego ocena.

Zgodnie z definicją pola radiolokacyjnego, po to, aby mogło ono właściwie spełniać swoje zadanie i tym samym mógł być realizowany zasadniczy cel jego istnienia, tj. wykrywanie i śledzenie obiektów w każdym punkcie rejonu działań bojowych korpusu OPK - musi być ono ciągłe.

Stwierdziliśmy, że ciągłe pole radiolokacyjne to taki wy-cinek przestrzeni, w której w dowolnym jej punkcie możliwe jest wykrywanie i śledzenie oraz określanie charakterystyk obiektów w dowolnej chwili czasu, przez co najmniej jeden pododdział radiotechniczny danego ugrupowania BRT.

W takim więc rozumieniu, za kryterium oceny pola radiolokacyjnego przyjmujemy jego ciągłość.

Jako współczynnik ciągłości pola radiolokacyjnego przyjmiemy, iloraz wielkości pola radiolokacyjnego V_{PR} utworzonego przez środki radiolokacyjne danego ugrupowania bojowego wojsk radiotechnicznych, do wielkości rejonu działań bojowych V_K zabezpieczanych aktywnych środków walki. Zapišemy to w następujący sposób

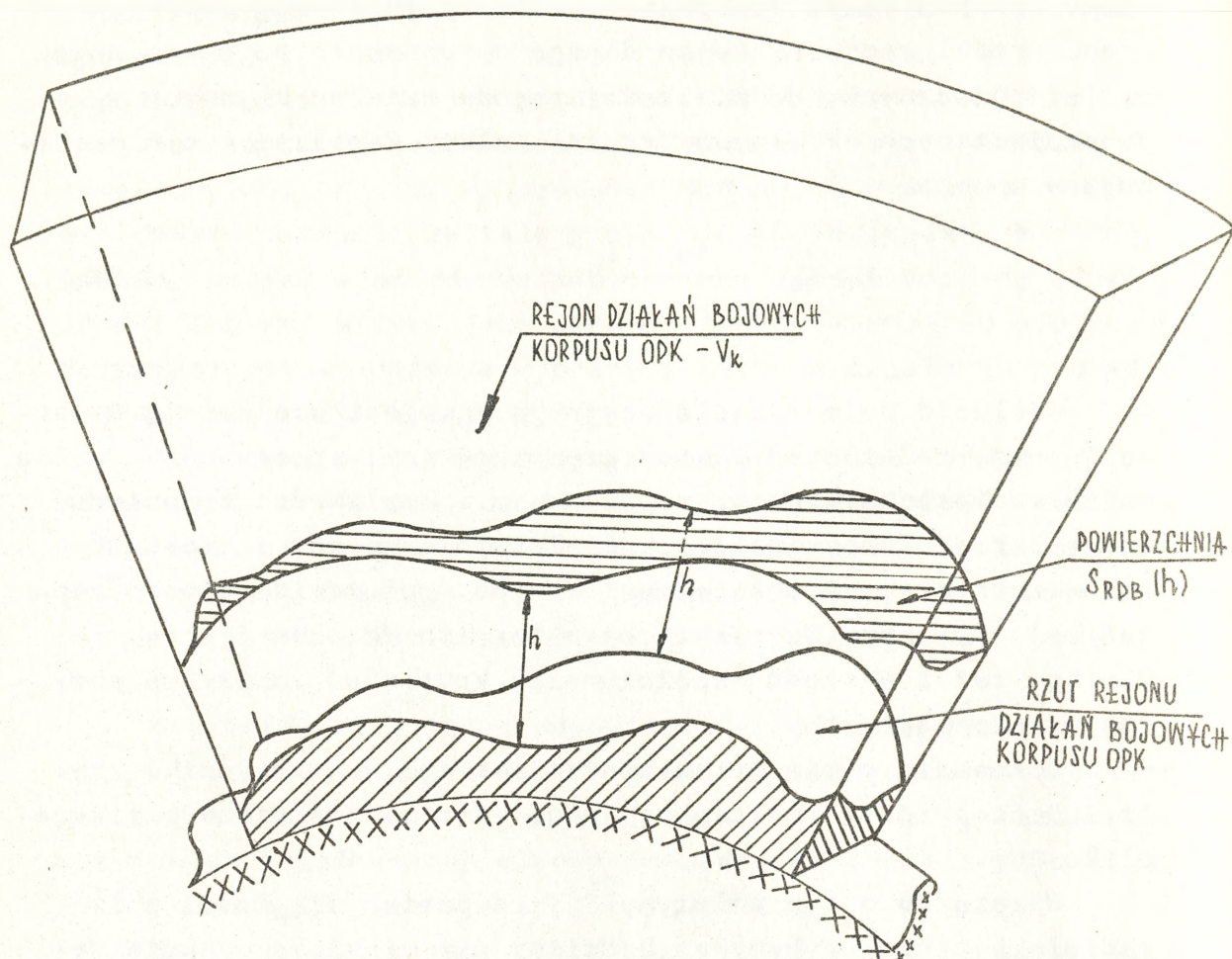
$$W \stackrel{df}{\equiv} \frac{V_{PR}}{V_K} \quad /3.28/$$

Wielkość pola radiolokacyjnego V_{PR} jest wielkością zmienną losową, zależną od takich czynników jak: sposób ugrupowania wojsk radiotechnicznych, wyposażenie i możliwości techniczne sprzętu radiolokacyjnego, ukształtowanie terenu i wielkość kątów zakrycia, warunki atmosferyczne, położenie rejonu działań bojowych, typ ŚNP oraz charakter ich działań i inne. Dlatego też i wartość współczynnika kryterium /3.28/ ma charakter stochastyczny.

Dokonanie pomiaru tak zdefiniowanego współczynnika kryterium oceny pola radiolokacyjnego jest sprawą niezwykle skomplikowaną.

W związku z tym założymy^{21/}, że pomiar ciągłości pola radiolokacyjnego wykonywać będziemy nie w każdym punkcie rejonu działań bojowych V_K , lecz na powierzchni $S_{RDB}/h/$ oddalonej od powierzchni ziemi o stałą wysokość $h = \text{const}$, znajdującą się w granicach rejonu działań bojowych /Rys.3.8/.

21/ W pracy zajmujemy się problemem oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach. W związku z tym będziemy uważać, że wartość współczynnika kryterium będzie co najmniej dolnym oszacowaniem pola radiolokacyjnego dla wszystkich punktów rejonu działań bojowych znajdujących się powyżej wysokości $h = \text{const}$ /dla której przeprowadzono badanie pola/.



Rys.3.8. Umiejscowienie powierzchni $S_{RDB}/h/$ w rejonie działań bojowych korpusu OPK.

Zgodnie z przyjętym założeniem, wartość współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego określać będziemy z zależności

$$w'/h/ = \frac{S_{PR}/h/}{S_{RDB}/h/} \quad , \quad /3.29/$$

gdzie:

$S_{PR}/h/$ - wielkość powierzchni /zawierającej się w powierzchni $S_{RDB}/h//$ utworzonej z punktów, w których za pomocą istniejącego pola radiolokacyjnego istnieje możliwość uzyskania pełnej informacji radiolokacyjnej.

W dalszym ciągu nie jest sprawą łatwą wyznaczenie powierzchni $S_{PR}/h/$.

Wyznaczenie wartości współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego na danej wysokości h , wykonamy za pomocą metod statystycznych. W związku z tym, na powierzchni $S_{RDB}/h/$ wyznaczymy określoną /skończoną/ ilość punktów, w których stwierdzić będziemy możliwość określania pełnej informacji radiolokacyjnej, za pomocą istniejącego pola radiolokacyjnego. Ilość punktów pomiarów, w których osiągnięto wynik pozytywny do ogólnej ilości punktów, w których dokonywano pomiaru, stanowić będzie wartość współczynnika ciągłości pola.

Zapiszemy to za pomocą następującej zależności

$$W/h/ = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N K /X_n, Y_n, h/, \quad /3.30/$$

przy czym

$$K/X_n, Y_n, h/ = \begin{cases} 1, & \text{gdy w punkcie o współrzędnych } /X_n, Y_n, h/ \\ & \text{istnieje możliwość określenia pełnej infor-} \\ & \text{macji za pomocą istniejącego pola radioloka-} \\ & \text{cyjnego;} \\ 0, & \text{w innym przypadku.} \end{cases}$$

N - ilość badanych punktów na powierzchni $S_{RDB}/h/$.

Teoretyczną podstawą takiego podejścia jest prawo wielkich liczb [20], [27] i [28]. Jedną z postaci takiego prawa jest twierdzenie Czebyszewa^{22/}, które głosi, że przy dostatecznie dużej liczbie niezależnych prób, średnia arytmetyczna

22/ Niech ξ_1, \dots, ξ_n będą niezależnymi zmiennymi losowymi o jednakowym rozkładzie. Załóżmy, że istnieje wartość średnia $E \xi_k = a < \infty$ oraz wariancja $D^2 \xi_k = \sigma^2 < \infty$ / $k = 1, \dots, n$ / i niech $S_n = \sum_{k=1}^n \xi_k$.

Wtedy dla każdego $\epsilon > 0$ spełniona jest nierówność Czebyszewa

$$P / \left| \frac{1}{n} S_n - a \right| \leq \epsilon / \geq 1 - \frac{\sigma^2}{n \cdot \epsilon^2},$$

/dalszy ciąg na str.68/

obserwowanych wartości zmiennej losowej o skończonej wariancji dąży stochastycznie do jej wartości oczekiwanej.

3.9. Metoda oceny pola radiolokacyjnego i wyboru wariantu ugrupowania BRT

Model matematyczny pola radiolokacyjnego BRT możemy sprowadzić do modelu sytuacji problemowej [1], który posiada następującą szczegółową postać

$$F = f /X_i, Y_j/, \quad /3.31/$$

przy czym

F - miara oceny podjętej decyzji;

X_i - zmienna będąca przedmiotem sterowania przez podejmującego decyzję; zmienne decyzyjne określające alternatywne sposoby działania;

Y_j - czynniki /zmienne lub stałe/, które mają wpływ na działanie, lecz nie są poddane sterowaniu decydenta w zdefiniowanym zakresie problemu; zmienne te nazywane są parametrami;

f - zależność funkcyjna między zmiennymi niezależnymi i stałymi, X_i i Y_j oraz zmienną zależną F .

W związku z tym, na podstawie dotychczas sformułowanych pojęć opisujących pole radiolokacyjne, wytwarzane przez

/dalszy ciąg ze str.67/
czyli nierówność

$$P / \left| \frac{1}{n} \cdot S_n - a \right| > \epsilon / \leq \frac{\zeta^2}{n \cdot \epsilon^2}$$

Stąd, przy sformułowanych wyżej założeniach wynika najprostszymi wariantami prawa wielkich liczb. Dla dowolnych $\epsilon > 0$ i $\delta > 0$ oraz dostatecznie dużych n średnia arytmetyczna $\frac{S_n}{n}$ z prawdopodobieństwem mniejszym niż $1 - \delta$ będzie różniła się od a o nie więcej niż ϵ / [28], s.19/.

środku ugrupowania brygady radiotechnicznej, zdefiniujemy model matematyczny pola radiolokacyjnego BRT, jako następującą zależność funkcyjną

$$V_B \stackrel{df}{=} f / P, SP, K, RZ, HLK, H, RDB /, \quad /3.32/$$

przy czym

- V_B - wielkość pola radiolokacyjnego brygady radiotechnicznej;
- P - wektor ugrupowania BRT;
- SP - wektor sposobów pracy RLS;
- K - macierz współczynników wykorzystania horyzontu radiowego;
- RZ - macierz promieni zaświeceń ekranów RLS;
- HLK - macierz wysokości zawieszenia elementów promieniujących anten RLS;
- H - macierz bezwzględnych wysokości terenu;
- RDB - wektor par współrzędnych odcinków opisujących rzut rejonu działań bojowych.

W przedstawionym modelu pola radiolokacyjnego /3.32/ zmiennymi są wektory P i SP , natomiast parametrowi macierze K , RZ , HLK i H oraz wektor RDB .

Zależność funkcyjna pomiędzy zmiennymi niezależnymi i stałymi oraz zmienną zależną V_B przedstawiono analicznie w rozdziale pierwszym oraz w ogólnym algorytmie wyznaczania współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego /Rys.3.9/, jak również w opracowanych programach obliczeniowych na EMC.

Ogólnie problem oceny pola radiolokacyjnego i wyboru optymalnego wariantu ugrupowania możemy sprowadzić do problemu optymalizacji decyzji [1].

W związku z tym, przedstawiony problem rozwiążemy według następującego ogólnego schematu:

- 1/ określenie skończonego zbioru wariantów ugrupowania BRT;
- 2/ wyznaczenie wartości współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego wariantów ugrupowania na EMC;
- 3/ optymalizacja wariantów ugrupowania BRT.

3.9.1. Warianty ugrupowania BRT

Przez wariant rozumiemy takie ugrupowanie, określone zależnością /3.1/, które różni się od pozostałych ugrupowań co najmniej jednym elementem.

Ilość wariantów ugrupowania zależy, między innymi, od: ilości pozycji wytypowanych dla rozwinięcia pododdziałów radiotechnicznych^{23/}, ilości rozwijanych pododdziałów, ilości RLS przewidzianych do rozwinięcia w pododdziały oraz ilości typów RLS.

Przyjmując, że w każdym pododdziale danego wariantu będzie jednakowa ilość stacji /np. 1;2;...;L/, ilość wariantów ugrupowania określić możemy z następującej zależności.

$$J_w = \frac{N!}{K! /N-K/!} \sum_{l=1}^L \left(\frac{T!}{l! /T-l/!} \right)^k, \quad /3.33/$$

przy czym

$$N \geq K \quad \text{oraz} \quad T \geq L,$$

gdzie:

J_w - ilość wariantów ugrupowania;

N - ilość zaproponowanych pozycji pod rozwinięcie pododdziałów;

K - ilość rozwijanych pododdziałów;

L - maksymalna ilość stacji w pododdziale;

T - ilość różnych typów RLS.

23/ Z teoretycznego punktu widzenia ilość punktów, w których można rozwinąć pododdziały radiotechniczne jest bardzo duża. Na przykład, dla rozwinięcia jednego pododdziału radiotechnicznego, wytypować można od kilku do kilkudziesięciu takich punktów, w zależności od przyjętej dyskretności wyboru.

I tak na przykład, dla $N = 20$, $K = 10$, $L = 4$ i $T = 8$, ilość wariantów ugrupowania osiąga wprost astronomiczną liczbę, wynoszącą $/8^{10} + 28^{10} + 55^{10} + 70^{10}/$.

Ilość wariantów będzie znacznie większa, jeśli zdejmemy założenie, aby w każdym pododdziale była jednakowa ilość RLS.

Dokonanie więc oceny wszystkich wariantów ugrupowania oraz wybranie spośród nich najlepszego /optymalnego/ ze względu na przyjęte kryterium, byłoby niezmiernie trudne do zrealizowania w jakimś rozsądnym przedziale czasu.

W związku z tym, znacznie łatwiej jest kierując się doświadczeniem i intuicją, wytypować kilka /kilkanaście/ reprezentatywnych wariantów, dokonać ich oceny i na podstawie przyjętego kryterium wybrać wariant najlepszy.

Należy zdawać sobie sprawę, że wybór nie będzie zawsze dokonany w sposób optymalny, gdyż może być dużo wariantów lepszych, których nie wytypowano do oceny. Jednak, jeśli stoimy wobec alternatywy przyjęcia rozwiązania suboptymalnego i rozwiązania optymalnego, ale otrzymanego w niewłaściwym czasie lub wręcz niekiedy niemożliwego do rozwiązania, przyjęcie alternatywy pierwszej wydaje się być racjonalne.

W takim też sensie w pracy, należy traktować wybór optymalnego wariantu ugrupowania ze względu na przyjęte kryterium ciągłości pola radiolokacyjnego.

3.9.2. Wyznaczenie współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego

Wartość współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego danego wariantu ugrupowania wyznaczać będziemy dla całej powierzchni $S_{RDB}/h/$ oraz dla wybranego kierunku leżącego na tej powierzchni.

W pierwszym przypadku powierzchnię $S_{RDB}/h/$ podzielimy na N elementarnych prostokątów o powierzchni ΔS , przy czym

$$N = E \left[\frac{S_{RDB}}{S} \right], \quad /3.34/$$

gdzie

$$\Delta S = \Delta X \cdot \Delta Y.$$

Każdy elementarny prostokąt ΔS reprezentowany będzie przez jego środek o współrzędnych $/X_n, Y_n/$, $n = 1, 2, \dots, N$. Kolejno w punktach tych sprawdza się, czy za pomocą utworzonego pola radiolokacyjnego, istnieje możliwość określania pełnej informacji radiolokacyjnej. Następnie na podstawie zależności /3.30/ oblicza się wartość współczynnika ciągłości pola.

Ogólny algorytm wyznaczania współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego przedstawia rys.3.9.

W drugim przypadku zamiast całej powierzchni $S_{RDB}/h/$, wartość współczynnika ciągłości pola wyznaczamy dla dowolnie obranego kierunku, leżącego na tej powierzchni. Kierunek ten aproksymuje się odcinkami prostej, które z kolei dzieli się na M punktów. Wielkość tę wyznacza się z zależności

$$M = \sum_{i=1}^I \frac{L_i}{\Delta l} \quad /3.35/$$

przy czym

L_i - długość i -tego odcinka aproksymowanego kierunku;

Δl - zadana długość elementarnego odcinka /dyskretność pomiaru/;

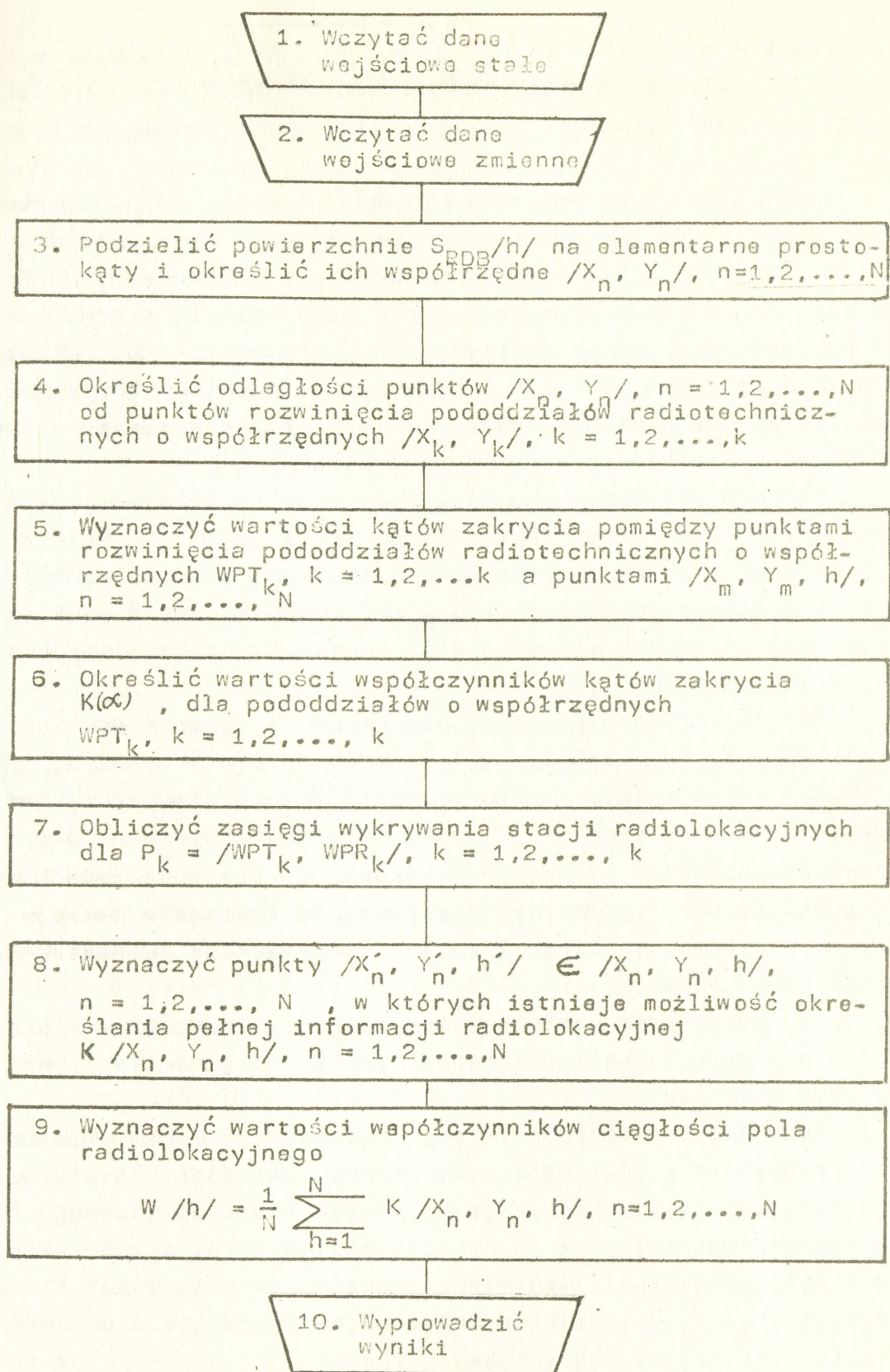
I - ilość prostych odcinkowych aproksymowanego kierunku.

Następnie dla każdego m -tego punktu określa się współrzędne $/X_n, Y_n, h/$ i sprawdza możliwości określania pełnej informacji radiolokacyjnej.

Ogólny algorytm postępowania jest podobny jak w przypadku pierwszym. Różnica polega na tym, że zamiast punktu 3 ogólnego algorytmu /Rys.3.9/ należy zgodnie /3.35/, dany kierunek aproksymowany prostymi odcinkowymi, podzielić na M punktów i określić ich współrzędne $/X_m, Y_m, h/$, $m=1, 2, \dots, M$.

W przedstawionych sposobach wyznaczania wartości współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego, kolejno w punktach $/X_n, Y_n, h/$, $n = 1, 2, \dots, N$ /lub $/X_m, Y_m, h/$, $m = 1, 2, \dots, M/$ określonych z zadaną dyskretnością, bada się możliwości określania pełnej informacji radiolokacyjnej.

Oczywiście, w jednym i w drugim przypadku popełniany jest błąd w określaniu zasięgu wykrywania. W pierwszym



Rys.3.9. Ogólny algorytm wyznaczania współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego.

przypadku wynosi on $\Delta \delta = \pm \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$, natomiast w drugim $\pm \Delta l$. Dobierając odpowiednio wartości ΔX , ΔY lub Δl można osiągnąć dowolną dokładność określania zasięgu wykrywania.

Zmniejszenie jednak wartości boków / ΔX , ΔY / elementarnego prostokąta /lub odcinka Δl /, powoduje jednak wzrost ilości punktów, w których przeprowadza się badanie pola. Wpływa to w znacznym stopniu na wydłużenie czasu obliczeń oraz zwiększenie zapotrzebowania na pamięć EMC. Przyjęcie więc odpowiedniej wielkości ΔX , ΔY lub Δl uwarunkowane jest koniecznością dokonania wyboru między dokładnością pomiaru, a czasem trwania obliczeń i wielkością zajętej pamięci EMC.

Wartość współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego wyznaczyć można korzystając z metod Monte Carlo^{24/}. Przy omawianiu poprzedniego sposobu powiedzieliśmy, że z założoną dyskretnością na powierzchni $S_{RDB}/h/$ wyznacza się N punktów, w których sprawdza się możliwość określania pełnej informacji radiolokacyjnej.

Zamiast takiego postępowania, można wylosować dowolny punkt $/X_i, Y_i, h/$, $i=1,2,\dots,I$ leżący na powierzchni $S_{RDB}/h/$ i zbadać czy istnieje możliwość określania w nim pełnej informacji. Losowanie punktów $/X_i, Y_i/$ należy tak wykonać, aby prawdopodobieństwo wylosowania każdego z nich było jednakowe. Osiągnąć to można, przez wykorzystanie do losowania punktów $/X_i, Y_i/$ generatora liczb losowych o rozkładzie jednostajnym [16], [25], [28].

Podobny sposób postępowania przyjęć można także, w przypadku wyznaczania wartości współczynnika ciągłości pola na zadanym kierunku.

Podstawę teoretyczną takiego podejścia stanowi twierdzenie Czebyszewa [28]. Mówi ono, że przy określeniu dostatecznie dużej ilości punktów $/X_i, Y_i, h/$, wartość obliczanego współczynnika ciągłości pola w przybliżeniu równać się będzie wartości oczekiwanej. Tak więc, przez odpowiedni dobór ilości punktów $/X_i, Y_i, h/$, uzyskać można określoną dokładność wyznaczania wartości współczynnika.

24/ Metodą Monte Carlo nazywa się dowolną procedurę, w której znalezienie przybliżonego rozwiązania jakiegoś zadania matematycznego lub fizycznego oparte jest na zasadach statystycznego pobierania próbek / [16] , s. 98/.

3.9.3. Optymalizacja wariantów ugrupowania BRT

Stwierdziliśmy, że wielkość i parametry pola radiolokacyjnego zależą od wielu czynników, do których zaliczyć można: sposób ugrupowania, wyposażenie i możliwości techniczne RLS, ukształtowanie terenu i wielkość kątów zakrycia, warunki atmosferyczne, rejon działań bojowych wojsk korpusu OPK, typ i charakter działań ŚNP przeciwnika. Oprócz wymienionych czynników na wielkość i parametry pola radiolokacyjnego mają wpływ decyzje odnośnie sposobów pracy stacji radiolokacyjnych.

Stosowanie określonego sposobu pracy RLS, często zależy nie tylko od podejmującej decyzję. Jest on bardzo często wymuszony, określonym sposobem oddziaływania przeciwnika powietrznego. Na przykład, zastosowanie przez ŚNP przeciwnika zakłóceń pasywnych w określonym sektorze rejonu działań bojowych wojsk korpusu OPK, zmusza do włączenia urządzeń tłumienia ech stałych. Powoduje to z kolei, zmniejszenie zasięgu wykrywania, a tym samym większą swobodę w działaniu ŚNP.

Tak więc, dany wariant ugrupowania w zależności od sposobu pracy RLS umożliwił będzie, tworzenie pola radiolokacyjnego o różnej wielkości, a tym samym w różnym stopniu zabezpieczone zostaną działania bojowe aktywnych środków walki korpusu OPK.

Określając współczynniki przypisujące każdej parze /wariant ugrupowania BRT - sposób pracy RLS/ wartość liczbową adekwatną do ciągłości pola radiolokacyjnego, można problem optymalizacji ugrupowania BRT sprowadzić do poszukiwania wariantu, który współczynnik ten maksymalizuje.

Oznaczmy przez $P = /P_i/$, $i = 1, 2, \dots, I$ zbiór wariantów ugrupowania, przez $S = /S_j/$, $j = 1, 2, \dots, J$ zbiór sposobów pracy RLS, a przez W_{ij} wartość współczynnika ciągłości pola i -tego wariantu ugrupowania oraz j -tego sposobu pracy RLS. Dane te przedstawić można w postaci tabeli /tabela 3.1/.

Ponieważ nie można a priori określić sposobu pracy RLS, dlatego też poszukiwanie optymalnego wariantu ugrupowania zależęć będzie od warunków podejmowania decyzji, odnośnie stosowania określonego sposobu pracy RLS. Decyzje te podejmować można w warunkach pewności, rezyka i niepewności^{25/}.

25/ Przyjęta klasyfikacja pochodzi od Luca i Raiffa [32].
Autorzy podają, że decyzje podejmuje się w warunkach:
/dalszy ciąg na stronie 75/

Tabela 3.1.

		SPOSOBY PRACY RLS.				
		S_1	...	S_j	...	S_J
WARIANTY UGRUPOWANIA	P_1	W_{11}	...	W_{1j}	...	W_{1J}
	⋮	⋮		⋮		⋮
	P_i	W_{i1}	...	W_{ij}	...	W_{iJ}
	⋮	⋮		⋮		⋮
	P_I	W_{I1}	...	W_{Ij}	...	W_{IJ}

Poszukiwanie optymalnego wariantu ugrupowania w warunkach pewności ma miejsce wtedy, gdy wiadomo jaki sposób pracy RLS $S_j \in S$, $j = 1, 2, \dots, J$ będzie stosowany w danych warunkach pracy systemu radiolokacyjnego. Wybór wariantu optymalnego sprowadza się wtedy do maksymalizacji współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego W , czyli do znalezienia wielkości

$$\bar{W} = \max_{P_i \in P} W / P_i, S_j/, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad /3.36/$$

25/ /dalszy ciąg ze str.75/.

- 1/ pewności, jeżeli wiadomo o każdym poszczególnym działaniu, że prowadzi ono niezmiennie do takiego, a nie innego wyniku;
- 2/ ryzyka, jeżeli każde działanie prowadzi do jakiegoś wyniku z pewnego określonego zbioru możliwych wyników, z których każdy ma przypisane prawdopodobieństwo. Zakłada się, że prawdopodobieństwa te są znane podejmującemu decyzję;
- 3/ niepewności, jeśli jeden z dwu sposobów działania bądź też obydwa mają jako swe następstwa zbiór określonych wyników możliwych, których prawdopodobieństwa są jednak zupełnie nie znane lub nawet mówienie o ich prawdopodobieństwach nie ma sensu.

Wariant ugrupowania $P_i \in P$, $i = 1, 2, \dots, I$ dla którego współczynnik $W = \bar{W}$ /osiąga wartość maksymalną/ jest wariantem optymalnym.

Poszukiwanie wariantu optymalnego w warunkach ryzyka, wiąże się z sytuacją, gdy nie wiemy jaki sposób pracy $S_j \in S$, $j = 1, 2, \dots, J$ będzie stosowany w danych warunkach pracy systemu radiolokacyjnego, ale znane są prawdopodobieństwa p_j stosowania sposobu pracy S_j . Wariantem optymalnym ugrupowania jest taki wariant $P_i \in P$, $i = 1, 2, \dots, I$ dla którego wartość oczekiwana współczynnika ciągłości pola W osiąga wartość maksymalną \bar{W} , czyli

$$\bar{W} = \max_{P_i \in P} \sum_{j=1}^J p_j \cdot W / P_i S_j /, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad /3.37/$$

Poszukiwanie wariantu optymalnego w warunkach niepewności występuje wtedy, gdy przypisanie określonych prawdopodobieństw poszczególnym sposobom pracy RLS nie jest możliwe.

Jest wiele sposobów poszukiwania rozwiązania optymalnego w tym przypadku, opartych o kryterium minimaxowe, kryterium minimaxowego ryzyka /zaproponowane przez Savage'a/, kryterium Hurwicza oparte na wskaźniku posymizmu - optymizmu, kryterium oparte na "zasadzie braku dostatecznej racji" /sformułowanej po raz pierwszy przez Jakuba Bernulliogo/ i inne. Kryteria te nie są doskonałe - co podkreślano między innymi w pracach [1], [32].

Wydaje się jednak, że w celu optymalizacji wariantu ugrupowania celowe jest stosować kryterium Hurwicza postaci

$$W = \max_{P_i \in P} \left[\alpha \cdot \min_{S_j \in S} W / P_i, S_j / + (1 - \alpha) \cdot \max_{S_j \in S} W / P_i, S_j / \right] \quad /3.38/$$

$$i = 1, 2, \dots, I$$

$$j = 1, 2, \dots, J$$

gdzie :

α - wielkość liczbowa ustalana przez podejmującego decyzję, zawierająca się między 0 i 1, zwana "wskaźnikiem pesymizmu- optymizmu".

Wariantem optymalnym w warunkach niepewności, będzie taki wariant ugrupowania $P_i \in P$, dla którego wyrażenie /3.38/ osiąga wartość maksymalną.

4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA EMC DO OCENY POLA RADIOLOKACYJNEGO NA MAŁYCH WYSOKOŚCIACH W BRT

Przykład zastosowania EMC do rozwiązania przedstawionego problemu, wykonamy zgodnie ze schematem przedstawionym w poprzednim rozdziale. Wcześniej jednak, na przykładzie 5 BRT podamy ogólną sytuację taktyczną.

4.1. Przykład taktyczny

Wspomniana 5 BRT wchodząca w skład 5 Korpusu OPK, który broni rejonu: PŁOCK, KUTNO, ŻYWIEC, dalej wzdłuż granicy z CSRS i ZSRR do m. WYSOKOJE, WYSZKÓW, prowadzi wykrywanie i rozpoznawanie ŚNP przeciwnika oraz zabezpiecza pod względem radiolokacyjnym działanie bojowe aktywnych środków walki. Brygada ma zorganizowane dwuwarstwowe pole radiolokacyjne od wysokości 500 m.

W skład brygady wchodzi 52, 53 i 54 bataliony radiotechniczne. Bataliony te prowadzą działania bojowe w składzie:

a/ 52 brt - 20 krt /miejscowa/, rozwinięta w m. BEMOWO

/5792, 4492/;

- 21 krt, rozwinięta w m. JAKUBÓW /5789.2, 4545.4/;

- 22 krt, rozwinięta w m. ROZKOSZ /5776, 4645.2/;

- 23 krt, rozwinięta w m. BIAŁOBRZEGI /5727.6, 4491/;

- 24 krt, rozwinięta w m. RÓŻYCE /5761.8, 4373/;

- b/ 53 brt - 30 krt /miejscowa/, rozwinięta w m. SANDOMIERZ /5620.8, 4547.5/;
- 31 krt, rozwinięta w m. OPOCZNO /5696.3, 4457.8/;
 - 32 krt, rozwinięta w m. BYSTRZYCA k/LUBLINA /5692.2, 4615.2/;
 - 33 krt, rozwinięta w m. WYSOKA GŁOGOWSKA /5557.4, 4575/;
- c/ 54 brt - 40 krt /miejscowa/, rozwinięta w m. MORAWICA /5551, 4408.8/;
- 41 krt, rozwinięta w m. JĘDRZEJÓW /5613.4, 4445/;
 - 42 krt, rozwinięta w m. ZBYSZYCE /5510, 4485.6/;
 - 43 krt, rozwinięta w m. WADOWICE /5532.6, 4389.2/.

Wyposażenie poszczególnych pododdziałów radiotechnicznych w sprzęt radiolokacyjny przedstawia tabela 4.1. W tabeli, cyfra na przecięciu wiersza i kolumny wskazuje na ilość stacji danego typu, znajdujących się w pododdziale radiotechnicznym. Stacje radiolokacyjne ponumerowane od 1 do 8 są stacjami typu "odległościomierz", natomiast pozostałymi liczbami, to stacje typu "wysokościomierz".

W wyniku oddziaływania ŚNP przeciwnika całkowitemu zniszczeniu uległy 31 krt oraz 41 krt. Przeciwnik niszcząc wymienione pododdziały, zamierza zmniejszyć istniejące pole radiolokacyjne i tym samym zwiększyć swobodę działania własnym ŚNP na kierunku zachodnim.

Dotychczasowe działania prowadzone były na małych wysokościach/rzędu 300-400 m/. Należy przypuszczać, że po odtworzeniu gotowości bojowej, przeciwnik powietrzny działał będzie głównie na małych wysokościach /rzędu 300 m/, prawdopodobnie z kierunku zachodniego.

W związku z tym, w celu pełnego zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych aktywnych środków walki 5 Korpusu OPK, należy odtworzyć naruszone pole radiolokacyjne, ze szczególnym uwzględnieniem kierunku zachodniego. Określić możliwości wykrywania i śledzenia obiektów od wysokości 300 m. Rozpatrzyć kilka wariantów ugrupowania BRT, dla odtworzenia naruszonego pola radiolokacyjnego i możliwości jego poprawy, szczególnie na kierunku zachodnim /dla małych

Tabela 4.1.

NR RLP	TYP STACJI RADIOLOKACYJNEJ											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
520	1		1			1	1	1	1	1	1	1
521					1	1		1	1		1	
522		1		1		1				1	1	
523					1		1		1			1
524				1			1		1			1
530		1	1				1	1	1	1		1
531		1				1		1	1		1	
532				1		1			1		1	
533					1		1		1			1
540		1	1			1	1	1	1	1	1	1
541	1				1			1	1	1		
542					1	1	1			1	1	1
543					1		1			1		1

wysokości/. Jako kryterium wyboru wariantu przyjęć ciągłość pola radiolokacyjnego na wysokości względnej $h = 300$ m.

4.2. Warianty ugrupowania brygady radiotechnicznej

Zadanie odtworzenia naruszonego pola radiolokacyjnego oraz jego poprawy, wykonać można na wiele sposobów. Dla potrzeb ilustracji przedstawionej metody oceny pola radiolokacyjnego, opracowano dziesięć następujących wariantów ugrupowania BRT.

Wariant Nr 1 - ugrupowanie w dotychczasowym składzie /przed zniszczeniem 31 i 41 krt/.

Wariant Nr 2 - ugrupowanie w dotychczasowym składzie, bez 31 i 41 krt.

Wariant Nr 3 - rozwinąć na pozycjach zapasowych: 31 krt w m. IDZIKOWICE /5704.5, 4452.5/ oraz 41 krt w m. ŻABIENIEC /5648, 4443.5/, wyposażone w sprzęt radiolokacyjny jak dotychczas. Pozostałe elementy ugrupowania bez zmian.

Wariant Nr 4 - rozwinąć 41 krt na pozycji zapasowej w m. ŻABIENIEC /5618, 4443.5/, 31 krt na nowej pozycji w m. PAPIEŻE /5767, 4402/. Pozostałe pododdziały bez zmian.

Wariant Nr 5 - rozwinąć 31 krt na pozycji zapasowej w m. IDZIKOWICE /5704.5, 4452.5/, 41 krt na nowej pozycji w m. DĄBROWA ZIELONA /5631.5, 4400/. Pozostałe pododdziały bez zmian.

Wariant Nr 6 - rozwinąć na nowych pozycjach: 31 krt w m. PAPIEŻE /5704.5, 4452.5/, 41 krt w m. DĄBROWA ZIELONA /5631.5, 4400/. Pozostałe pododdziały bez zmian.

Wariant Nr 7 - rozwinąć na nowych pozycjach: 31 krt w m. PAPIEŻE /5704.5, 4452.5/, 41 krt w m. DĄBROWA ZIELONA /5631.5, 4400/. Zorganizować WRLP 534 w składzie RLS typu 7,9,12 i rozwinąć go w m. NIETULISKO /5648.5, 4517/. Pozostałe pododdziały bez zmian.

Wariant Nr 8 - rozwinąć 31 krt na pozycji zapasowej w m. IDZIKOWICE /5704.5, 4452.5/, 41 krt na nowej pozycji w m. DĄBROWA ZIELONA /5631.5, 4400/. Zorganizować WRLP 534 w składzie RLS typu 7,9,12 i rozwinąć go w m. NIETULISKO /5648.5, 4517/. Pozostałe pododdziały ugrupowanie bez zmian.

Wariant Nr 9 - rozwinąć 31 krt na nowej pozycji w m. PAPIEŻE /5704.5, 4452.5/, 41 krt na pozycji zapasowej w m. ŻABIENIEC /5618, 4443.5/. Zorganizować WRLP 534 w składzie RLS typu 7, 9, 12 i rozwinąć go w m. NIETULISKO /5648.5, 4517/. Pozostałe pododdziały bez zmian.

Wariant Nr 10 - rozwinąć na pozycjach zapasowych: 31 krt w m. IDZIKOWICE /5704.5, 4452.5/ i 41 krt w m. ŻABIENIEC /5618, 4443.5/. Zorganizować WRLP 534 w składzie RLS typu 7,9,12 i rozwinąć go w m. NIETULISKO /5648.5, 4517/. Pozostałe pododdziały ugrupowania bez zmian.

Wyposażenie 31 i 41 krt w sprzęt radiolokacyjny w wariantach od 4 do 10 takie samo jak w wariantach Nr 1.

Dla wyznaczenia współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego oraz macierzy współczynników przekrycia opracowano dwa programy na EMC ODRA 1305 w języku FORTRAN. /Załącznik Nr 2/.

4.3. Założenia przyjęte dla rozwiązania przykładu taktycznego

Ogólnie założenia dla rozwiązania określonego problemu, podzielić możemy na dwie grupy.

Do pierwszej z nich zaliczymy założenia, wynikające z uproszczenia modelu matematycznego. Są to, tzw. założenia metodyczne wynikające z adekwatności modelu z opisywanym zjawiskiem czy procesem.

Do drugiej grupy zaliczymy założenia, wynikające z ograniczeń technologii obliczeń.

4.3.1. Założenia metodyczne

Zbudowanie modelu matematycznego opiera się na izomorfizmie, który oznacza podobieństwo formy przy jakościowej różnicy zjawisk [25]. W zależności więc, od złożoności modelowanego zjawiska oraz umiejętności jego sformalizowanego przedstawiania, różna będzie adekwatność modelu. Nie zawsze jednak umiemy budować takie modele, które w zupełności i ze wszystkimi szczegółami odzwierciedlają określony fragment badanej rzeczywistości. Świadomi tego, zakładamy więc, że budowany przez nas model obarczony jest pewnymi błędnymi, w większym lub w mniejszym stopniu zniekształcającymi obraz danego zjawiska.

Powyższe uwagi, dotyczą także modelu matematycznego pola radiolokacyjnego dla wykrywania i śledzenia obiektów na małych wysokościach. Przy opracowywaniu modelu matematycznego uczyniono następujące założenia:

- 1/ wielkość zasięgu wykrywania na małych wysokościach jest proporcjonalna do wartości współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego - stała dla danego typu stacji rozwinętej na różnych pozycjach radiolokacyjnych;
- 2/ nie uwzględnia się wpływu ukształtowania terenu w strefie bliższej pozycji radiolokacyjnej na zasięg wykrywania;
- 3/ warunki atmosferyczne są stałe i nie mają wpływu na zmianę zasięgu wykrywania;

- 4/ wielkość zaświeceń ekranu stacji odzwierciedlana jest za pomocą średniego promienia;
- 5/ maksymalny zasięg wykrywania obiektów za pomocą stacji radiolokacyjnych ugrupowania brygady radiotechnicznej przyjęto dla jednakowego /stałego/ prawdopodobieństwa^{26/};
- 6/ nie uwzględnia się wpływu stosowania zakłóceń radiolokacyjnych przez ŚNP nieprzyjaciela na parametry pola radiolokacyjnego;
- 7/ zasięg wykrywania stacji określa się dla dyskretnych wielkości skutecznej powierzchni odbicia obiektu;
- 8/ wszystkie stacje radiolokacyjne znajdujące się w wyposażeniu pododdziałów radiotechnicznych są sprawne i mogą być jednocześnie włączone do systemu radiolokacyjnego wykrywania /badać można pole radiolokacyjne utworzone przez dowolną ilość stacji danego ugrupowania - traktując je wtedy jako oddzielne warianty ugrupowania/;
- 9/ nie uwzględnia się strat w przekazywaniu danych o wykrytych i śledzonych obiektach na poszczególne stanowiska dowodzenia;
- 10/ wielkość rzutu rejonu działań bojowych na powierzchnię ziemi jest stała dla wszystkich badanych wysokości.

26/ Znając zasięg wykrywania RLS dla dowolnego prawdopodobieństwa, można wyznaczyć wartość prawdopodobieństwa wykrywania w dowolnym punkcie pola z zależności

$$P /D/ = \exp \left[-k \left(\frac{D}{D/P_w/} \right)^4 \right] .$$

gdzie:

D - dowolna odległość, dla której wyznacza się prawdopodobieństwo wykrycia;

$D/P_w/$ - zasięg wykrywania dla znanego prawdopodobieństwa P_w ;

k - stały współczynnik przeliczeniowy /dla $P_w = 0,5$, $k \approx 0,69/$

/ [3], s.10/.

4.3.2. Założenia technologiczne.

Wynikają one, jak już powiedzieliśmy, ze sposobu przeprowadzenia obliczeń, dokładności danych wejściowych oraz sposobu i możliwości wyprowadzania danych wynikowych. Mogą to być także, ograniczenia wynikające z możliwości technicznych użytego sprzętu obliczeniowego.

Do założeń tej grupy zaliczymy:

- 1/ dyskretny opis wysokości terenu /stała wysokość dla całego elementarnego prostokąta siatki/;
- 2/ wydruki macierzy współczynników przekrycia wyprowadzane są w sposób dyskretny, nie odpowiadający skali mapy, na podstawie której opisano rozpatrywany teren.

Mimo ograniczeń, za pomocą opracowanych programów obliczeniowych można dokonać oceny pola radiolokacyjnego, nie w sensie pomiaru jej bezwzględnej wartości, natomiast dla porównania pól wytwarzanych przez różne warianty ugrupowania. Błąd spowodowany przez uczynione założenia jest stały przy ocenie wszystkich wariantów.

W celu wykonania obliczeń wytypowanych wariantów ugrupowania za pomocą omówionych programów, na dane wejściowe nałożono następujące ograniczenia:

- 1/ rozpatrywany teren przedstawić można za pomocą siatki o wymiarach 60x50 węzłów /czyli o 60 liniach rzędów i 50 liniach kolumn/;
- 2/ badany kierunek aproksymować można nie większą ilością odcinków niż 10, z których każdy nie powinien być badany w więcej niż 150 punktach;
- 3/ rejon obrony korpusu OPK aproksymować można za pomocą wieloboku wypukłego, o ilości nie przekraczającej 20 boków.

W związku z powyższymi założeniami, zajętość pamięci operacyjnej EMC ODRA 1305 wynosi dla programu WPRL - 26368 komórek, a programu KPOL - 18560 komórek.

4.4. Przygotowanie danych wejściowych do obliczeń.

Przeprowadzenie obliczeń za pomocą EMC wymaga odpowiedniego przygotowania danych wejściowych. Ogólnie dane te podzielić można na dane stałe i zmienne.

W celu przeprowadzenia obliczeń pola radiolokacyjnego za pomocą omówionych programów, konieczne są następujące dane stałe:

- 1/ współrzędne topograficzne początku układu siatki /określone z mapy, podane w liczbach całkowitych, np. 5472, 4372/;
- 2/ rozmiary elementarnego prostokąta siatki /podane w kilometrach, w liczbach całkowitych/;
- 3/ maksymalna ilość pododdziałów i typów stacji radiolokacyjnych, ilość wyróżnionych skutecznych powierzchni odbicia, ilość punktów opisujących rajon działań bojowych /podane w liczbach całkowitych/;
- 4/ rozmiary siatki /podane w liczbach całkowitych/;
- 5/ opis wysokości terenu /podany w metrach, w liczbach całkowitych/.

Opis terenu przygotowano na podstawie mapy w skali 1 : 200 000. Na rozpatrywany teren naniesiono siatkę o wymiarach elementarnego prostokąta $DX = DY = 8$ km. W każdym elementarnym prostokącie określono maksymalną bezwzględną wysokość /największa wysokość danego prostokąta wraz ze sztucznymi przeszkodami terenowymi/, jako wysokość charakterystyczną tego prostokąta. Położenie elementarnego prostokąta określa się, przez podanie współrzędnych topograficznych jego środka, zgodnie z zależnością /1/ podaną w załączniku Nr 2. W przypadku opisu terenu należącego do dwóch lub więcej stref, należy dokonać przeliczenia współrzędnych do jednej strefy.

Dane zmienne są następujące:

- 1/ współrzędne topograficzne punktów opisujących rzut rajonu działań bojowych /podane w liczbach rzeczywistych, np. 5523.5, 4723.6/;
- 2/ współczynniki zmniejszenia zasięgu wykrywania urządzenia tłumienia ech stałych /podane w liczbach rzeczywistych, zawarte w granicach od 0 do 1/;

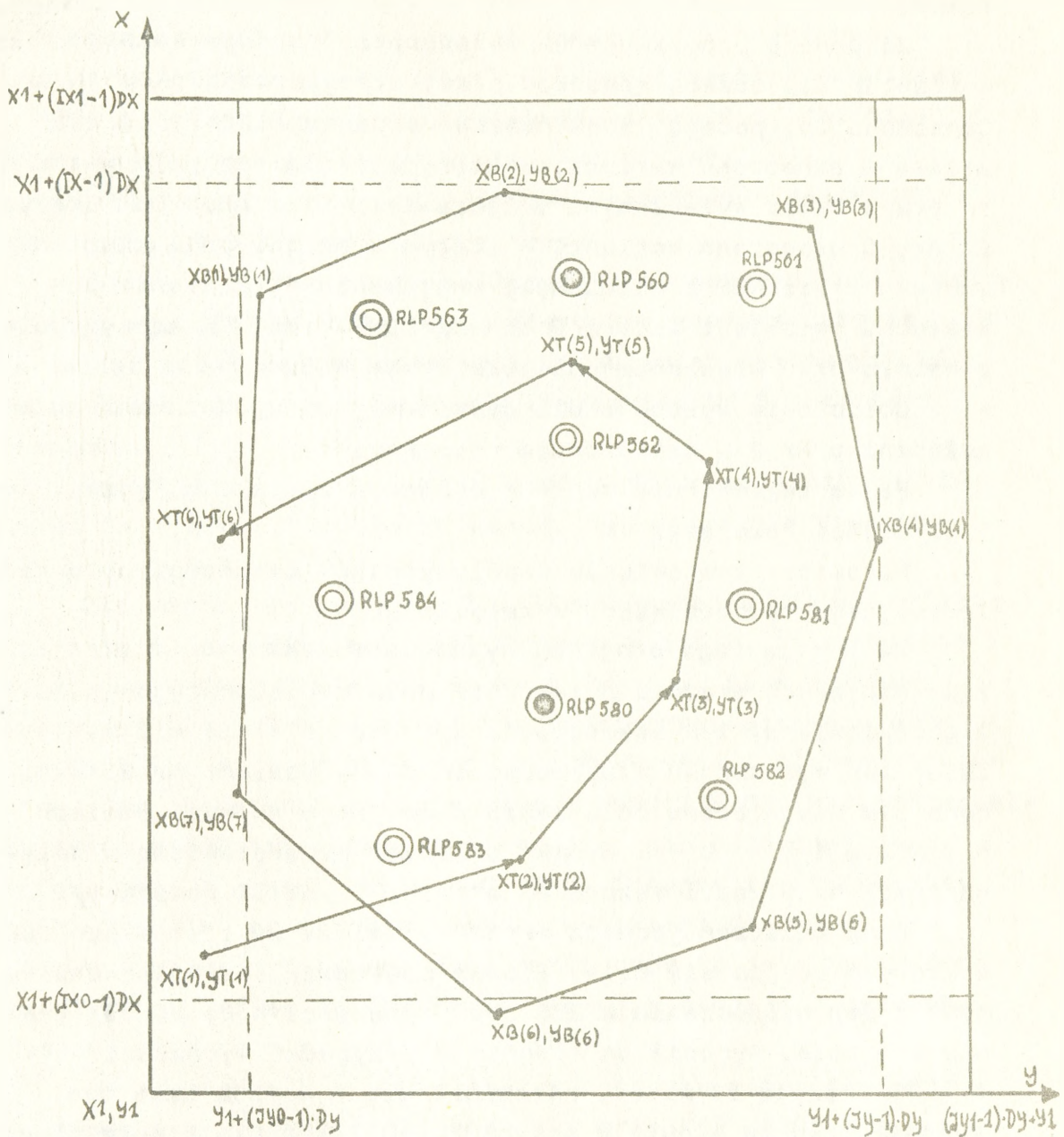
- 3/ promienie stref martwych stacji radiolokacyjnych /podane w kilometrach, w liczbach rzeczywistych/;
- 4/ wartość prawdopodobieństwa wykrywania dla danych wartości współczynników wykorzystania horyzontu radiowego /podane w liczbach rzeczywistych/;
- 5/ współrzędne topograficzne pozycji technicznych pododdziałów radiotechnicznych /określone z mapy, w liczbach rzeczywistych, np. 5789.2, 4545.4/;
- 6/ średnie promienie zaświeceń ekranów wskaźników RLS /podane w kilometrach, w liczbach rzeczywistych/;
- 7/ wyposażenie pododdziałów radiotechnicznych w sprzęt radiolokacyjny /podane w liczbach całkowitych/;
- 8/ względne wysokości zawieszenia elementów promieniujących anten /podane w metrach, w liczbach całkowitych/;
- 9/ bezwzględne wysokości pozycji technicznych pododdziałów radiotechnicznych /podane w metrach, w liczbach całkowitych/;
- 10/ numery pododdziałów radiotechnicznych /liczby całkowite/;
- 11/ wysokość, na której przeprowadza się ocenę pola radiolokacyjnego /podana w liczbach całkowitych/;
- 12/ współrzędne wybranego prostokąta rzutu rejonu działań bojowych /podane w liczbach całkowitych/;
- 13/ wartości wskaźników sposobu oceny pola radiolokacyjnego /podane w liczbach całkowitych/;
- 14/ współrzędne topograficzne punktów opisujących trasę badanego kierunku /określone z mapy, w liczbach rzeczywistych, np. 5810.3, 4545.4/;
- 15/ wielkość przyrostu odległości /dyskretność/ na badanym kierunku /podana w kilometrach, w liczbach całkowitych/.

Interpretację niektórych danych wejściowych przedstawiono na rys.4.1.

Schematy przygotowania danych wejściowych do obliczeń przedstawiono w załącznikach Nr 3 i Nr 4.

4.5. Przeprowadzenie obliczeń na EMC ODRA 1305

Obliczenia współczynników ciągłości oraz macierzy współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego wykonano dla dziesięciu wariantów ugrupowania BRT, dla wysokości względnej $h = 300$ m. Obliczenia wykonano za pomocą dwóch programów



Rys. 4.1. Interpretacja niektórych danych wejściowych dla oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach za pomocą programów WPRL i KPOL.

o nazwach - WPRL i KPOL. Tabulogramy programów przedstawiono odpowiednio w załączniku Nr 1 i załączniku Nr 4 - w II części rozprawy.

Za pomocą programu WPRL wykonano obliczenia każdego z wariantów dla trzech sposobów pracy stacji radiolokacyjnych. Oznaczono to, podając obok numeru wariantu literę. I tak literą A oznaczono wariant, w którym ocenia się pole wytworzone przez RLS z wyłączonymi urządzeniami tłumienia ech stałych. Literą C oznaczono wariant, w którym oceniane pole utworzone zostało przez RLS z włączonymi urządzeniami tłumienia ech stałych. Natomiast literą B oznaczono wariant, w którym pole powstało przy mieszanym sposobie pracy RLS.

Obliczenia wykonano dla danych wejściowych zawartych w załączniku Nr 2 - część druga rozprawy.

Pełne zestawienie wyników obliczeń zawiera załącznik Nr 3 - II części rozprawy.

Natomiast zestawienie współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego przedstawiono w załączniku Nr 5.

Za pomocą tego programu wyznaczono także zbiór stacji, zapewniających średnie przekrycie pola radiolokacyjnego odległościomierzy i wysokościomierzy, nie mniejsze niż 2. Zbiór ten wyznaczono z ugrupowania BRT - wariant Nr 1. Wykonano dla niego ocenę pola radiolokacyjnego na wysokościach $h = 300$ m i $h = 500$ m. Wyniki obliczeń przedstawiono w załącznikach Nr 9 /cz.I rozprawy/ oraz Nr 7 /cz.II rozprawy/.

Czas obliczeń jednego wariantu zależy od ilości punktów, w których ocenia się pole, ilości pododdziałów radiotechnicznych i ich wyposażenia w RLS oraz wysokości h , na której ocenia się pole. Wynosił on średnio w przypadku wysokości $h = 300$ m około 18 minut, natomiast dla $h = 500$ m czas ten wynosił około 20 minut. W przypadku obliczeń dla zbioru stacji zapewniających średnie zadane przekrycie pola, czas ten jest dwukrotnie dłuższy.

Dla wariantu 1-A wykonano dodatkowo obliczenia pola radiolokacyjnego na wysokości względnej $h = 100$ m. Z otrzymanych danych /Załącznik Nr 7, s.7/ wynika, że wartość współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego jest bardzo niska i wynosi dla WPIK = 0,1771.

Program KPOL wykorzystano do obliczeń każdego z wariantów na dwóch kierunkach. Na każdym kierunku oceniono pole dla trzech sposobów pracy RLS. W celu odróżnienia poszczególnych wariantów, uwzględnienia sposobu pracy RLS i ocenianego kierunku, dane wejściowe i wyniki obliczeń oznaczono dodatkowo literą i cyfrą. Litera oznacza sposób pracy RLS, natomiast cyfra badany kierunek /np. Wariant Nr 1 - A2/.

Obliczenia wykonano dla danych wejściowych zawartych w załączniku Nr 5 - część II rozprawy.

Zestawienie wartości współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego dla dwóch badanych kierunków zawiera załącznik Nr 6. Natomiast pełne zestawienie wyników obliczeń wykonanych dla dwóch kierunków, przedstawiono w załączniku Nr 6 - część II rozprawy.

Średni czas wykonania obliczeń jednego wariantu na kierunku Nr 1, wynosił około 10 minut, natomiast dla kierunku Nr 2, około 9 minut.

Dla wariantów 1 - A1 i 1 - A2 wykonano dodatkowo obliczenia pola na wysokościach względnych $h = 100$ m. Na podstawie otrzymanych danych /Załącznik Nr 8/ wynika, że w przypadku wysokości $h = 100$ m na całej trasie kierunku pierwszego /wariant 1 - A1/, obiekty mogą być wykrywane i śledzone tylko przez dwa posterunki radiolokacyjne /530 i 540/. Wartość współczynnika ciągłości pełnej informacji radiolokacyjnej jest bardzo mała i wynosi $WPIK = 0,0388$. Oznacza to, że obiekty wykonujące lot na tym kierunku na wysokości do 100 m, nie będą wykrywane i śledzone /lub jeśli będą to jako pojedyncze współrzędne/ przez środki radiolokacyjne brygady radiotechnicznej /podana w przykładzie 5 BRT/.

Na wysokości $h = 300$ m, na tym kierunku, mogą prowadzić wykrywanie i śledzenie obiektów już trzy RLP /530, 540 i 543/. Wartość współczynnika ciągłości pełnej informacji jest już znacznie większa i wynosi $WPIK = 0,2136$. Natomiast na wysokości $h = 500$ m może prowadzić wykrywanie i śledzenie obiektów, na tym kierunku, pięć RLP /530, 540, 541, 542 i 543/, a wartość współczynnika ciągłości $WPIK = 0,4466$.

Podobnie przedstawia się sprawa na drugim kierunku /Załącznik Nr 8, wariant 1 - A2/, z tą różnicą, że wykrywanie

i śledzenie obiektów na tym kierunku, na wysokościach $h=300$ m i $h=500$ m może być realizowane przez te same pododdziały. Jedynie na wysokości $h=100$ m bierze udział w wykrywaniu i śledzeniu obiektów jeden pododdział mniej niż dla dwóch poprzednich wysokości.

Wartości współczynników ciągłości pełnej informacji radiolokacyjnej są znacznie wyższe na tym kierunku niż na kierunku pierwszym. Wnoszą one odpowiednio: 0,2662; 0,5108 i 0,8417. Wskazuje to, na znacznie większe możliwości wykrywania i śledzenia na tym kierunku, w porównaniu z kierunkiem pierwszym.

4.6. Wyznaczenie optymalnego wariantu ugrupowania i dyskusja rozwiązania.

Wyznaczone za pomocą EMC wartości współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego, zestawimy w tabelę /tabela 3.1/, która w teorii gier nosi nazwę macierzy użyteczności. Otrzymane wyniki posłużą nam, do wyznaczenia optymalnego wariantu ugrupowania BRT. Jako funkcję /kryterium/ optymalizacji przyjmujemy współczynnik ciągłości pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziałów radiotechnicznych.

Optymalizację przeprowadzimy dla dwóch przypadków. Przypadek pierwszy, w którym oceniano pole radiolokacyjne na całej powierzchni $S_{RDB}/h/$. Przypadek drugi, w którym oceniano pole radiolokacyjne tylko na wybranych kierunkach, leżących na powierzchni $S_{RDB}/h/$.

4.6.1. Przypadek pierwszy.

Macierz użyteczności przedstawia tabela 4.1. Powiedzieliśmy, że optymalizację przeprowadzać możemy w warunkach pewności, ryzyka i niepewności. Zależy to od tego, jaką będziemy dysponować informacją o sposobach pracy RLS.

Optymalizacja w warunkach pewności będzie wówczas, gdy znany będzie sposób pracy RLS. I tak np. gdy wiadomo, że stacje radiolokacyjne pracować będą według sposobu S_1 , wówczas wariantem optymalnym będzie wariant P_8 , dla którego funkcja kryterium osiąga wartość maksymalną $\bar{W} = W_{81} = 0.4005$.

Tabela 4.1.

		SPOSOBY PRACY RLS.		
		S ₁	S ₂	S ₃
WARIANTY UGRUPOWANIA	P ₁	0,3987	0,4907	0,6215
	P ₂	0,3061	0,3999	0,5087
	P ₃	0,3721	0,4682	0,5966
	P ₄	0,3628	0,4722	0,6030
	P ₅	0,3848	0,4815	0,6100
	P ₆	0,3698	0,4838	0,6100
	P ₇	0,3860	0,5162	0,6470
	P ₈	0,4005	0,5139	0,6464
	P ₉	0,3791	0,5046	0,6400
	P ₁₀	0,3877	0,5006	0,6331

Natomiast dla sposobu pracy S₃ wariantem optymalnym będzie wariant P₇, dla którego wartość funkcji kryterium $\bar{W}=W_{73}=0,6470$. Oznacza to, że w przypadku pracy stacji radiolokacyjnych bez włączania urządzeń tłumienia ech stałych, najlepszy jest wariant Nr 8, w którym przewiduje się rozwinięcie 31 krt na pozycji zapasowej, 41 krt na nowej pozycji oraz zorganizowanie wysuniętego posterunku WRLP 534. Natomiast w przypadku pracy mieszanej RLS, najlepszym jest wariant Nr 7, w którym przewiduje się rozwinięcie 31 i 41 krt na nowych pozycjach i zorganizowanie WRLP 534.

Interesujące jest to, że ze względu na S₁ następnym najlepszym wariantem po P₈, jest P₁ odpowiadający wariantowi Nr 1. Jest to ugrupowanie jakie posiadała brygada przed zniszczeniem 31 i 41 krt. Wariant ten jest też lepszy niż P₇, P₉ i P₁₀, które to odpowiadają wariantom ugrupowania przewidującym oprócz rozwinięcia w dotychczasowym składzie /ale na innych pozycjach/ 31 i 41 krt, zorganizowanie dodatkowo WRLP 534. Analizując

tabelę 4.1 stwierdzamy, że i ze względu na sposoby pracy S_2 i S_3 wariant P_1 jest lepszy od wariantów P_3 do P_6 , w których po zniszczeniu 31 i 41 krt na pozycjach zasadniczych, przewidyuje się ich rozwinięcie /w układzie dotychczasowym/, ale na pozycjach zapasowych lub nowych.

Optymalizację w warunkach ryzyka przeprowadzić możemy wówczas, gdy dysponujemy informacją dotyczącą częstości lub prawdopodobieństwa stosowanie określonego sposobu pracy RLS. I tak np. dla jednakowego prawdopodobieństwa stosowania każdego z trzech sposobów pracy, wynoszącego $p_1 = p_2 = p_3 = \frac{1}{3}$, optymalnym jest wariant P_8 , dla którego wartość funkcji kryterium $\bar{W} = 0,5203$. Natomiast dla prawdopodobieństw $p_1 = 0,1$, $p_2 = 0,6$, $p_3 = 0,3$ odpowiadających stosowaniu odpowiednio sposobu S_1 , S_2 , S_3 , najlepszym będzie wariant P_7 , dla którego $\bar{W} = 0,5424$. Jednakże, jeśli wartości $p_1 = 0,2$, $p_2 = 0,5$ i $p_3 = 0,3$ najlepszym ponownie jest wariant P_8 , dla którego wartość funkcji wynosi $\bar{W} = 0,5310$.

Ogólnie możemy stwierdzić, że w zależności od częstości stosowania poszczególnych sposobów pracy RLS, optymalnymi będą warianty Nr 7 lub Nr 8.

Z optymalizacją w warunkach niepewności mamy do czynienia wówczas, gdy nie można nic powiedzieć o częstości lub prawdopodobieństwach stosowania poszczególnych sposobów pracy RLS. Stosując kryterium Hurwicza oparte na wskaźniku pesymizmu - optymizmu i przyjmując np. wartość tego wskaźnika $\alpha = 0,3$, otrzymamy optymalny wariant P_8 , dla którego wartość funkcji kryterium osiąga wartość $\bar{W} = 0,57263$. Natomiast, jeśli wartość wskaźnika $\alpha = 0,01$, optymalnym okaże się wariant P_7 , dla którego funkcja osiąga wartość $\bar{W} = 0,64439$. Po dalszej analizie wysunąć można następujący wniosek: dla wartości wskaźnika $\alpha < 0,04$ optymalnym będzie wariant P_7 , natomiast dla $\alpha > 0,04$ optymalnym będzie wariant P_8 . Dla wartości wskaźnika $\alpha = 0,04$ warianty P_7 i P_8 w świetle przyjętego kryterium są równoważne.

Zauważmy, że przyjmując wartość wskaźnika $\alpha = 0$, otrzymamy optymalny wariant P_7 . Jest to wybór dokonany w warunkach pewności, dla sposobu pracy S_3 . Natomiast kładąc wartość $\alpha = 1$, mamy także do czynienia z wyborem w warunkach pewności, ale dla znanego S_1 , przy którym optymalny jest wariant P_8 .

Z przeprowadzonej dyskusji wynika, że niezależnie od przyjętego kryterium optymalizacji, wariantem optymalnym w sensie ciągłości pełnej informacji radiolokacyjnej dla wysokości $h = 300$ m są: albo wariant Nr 7 albo wariant Nr 8. Wariant Nr 7 jest lepszy od wariantu Nr 8 dla warunków, w których wystąpi konieczność stosowania mieszanego sposobu pracy RLS.

4.6.2. Przypadek drugi.

W tym przypadku pole radiolokacyjne oceniono na dwóch kierunkach. Wyniki obliczeń współczynników ciągłości pełnej informacji radiolokacyjnej zawiera tabela 4.2.

Podobnie jak dla przypadku pierwszego przeprowadzimy dyskusję wyboru optymalnego wariantu ugrupowania w warunkach pewności, ryzyka i niepewności. Rozpatrzmy oddzielnie każdy kierunek.

Tabela 4.2.

		SPOSOBY PRACY RLS			
		S_1	S_2	S_3	
WARIANTY UGRUPOWANIA	KIERUNEK NR 1	P_1-P_6	0,3631	0,5698	0,6536
		P_7-P_{10}	0,3687	0,5754	0,6592
	KIERUNEK NR 2	P_1	0,5108	0,5971	0,6763
		P_2	0,3669	0,5036	0,5755
		P_3, P_5, P_8, P_{10}	0,5108	0,6115	0,6906
		P_4, P_6, P_7, P_9	0,4460	0,6619	0,7554

Kierunek Nr 1 - określony jest za pomocą współrzędnych ujętych w tabeli 4.3. Graficznie kierunek ten przedstawiono w załączniku Nr 7, na wydruku macierzy współczynników przekrycia.

Z przedstawionego w tabeli 4.2. dla tego kierunku zestawienia wynika, że zniszczenie 31 i 41 krt nie ma wpływu na zmianę parametrów pola radiolokacyjnego na wysokości $h = 300$ m /wartość współczynnika ciągłości pełnej informacji radiolokacyjnej jest taka sama dla wariantów P_1 do P_6 , przy czym w wariacie P_2 wyłączone zostały 31 i 41 krt/.

Tabela 4.3.

n	1	2	3	4	5	6
XT/n/	5529	5585	5623	5710	5793	5830
YT/n/	4372	4522	4563	4555	4512	4388

Przeciwnik powietrzny dla zwiększenia swobody działania własnych środków, zniszczył między innymi dwie kompanie radiotechniczne /założenia uczynione w opisie taktycznym/. Jeśli więc następne naloty wykonywane będą na tym kierunku, to zabezpieczenie działań bojowych aktywnych środków walki korpusu OPK w pełną informację radiolokacyjną, nie powinno być gorsze niż było to w wariacie Nr 1 /przed nalotem/.

Poprawa pola radiolokacyjnego nastąpi dopiero, po zorganizowaniu WRLP 534, bez konieczności rozwijania 31 i 41 krt.

Ogólnie można stwierdzić, że wszystkie warianty ugrupowania / P_7 do P_{10} /, w których przewiduje się zorganizowanie wysuniętego posterunku radiolokacyjnego są lepsze /ze względu na przyjęte kryterium i dany kierunek/ od pozostałych wariantów / P_1 do P_6 /, niezależnie od tego w jakich warunkach podejmowana będzie decyzja.

Kierunek Nr 2 - opisany za pomocą współrzędnych podanych w tabeli 4.4.

Tabela 4.4.

n	1	2	3	4
XT/n/	5810	5780	5715	5710
YT/n/	4372	4540	4550	4372

Graficznie kierunek ten podobnie jak poprzedni pokazano w załączniku Nr 7, na wydruku macierzy współczynników przekrycia oraz w załączniku Nr 8 /Warianty 1 - A1 i 1 - A2/.

Określenie wariantu optymalnego i dla tego kierunku nie jest jednoznaczne. Stwierdzić można na podstawie tabeli 4.2, że warianty P_3 , P_5 , P_8 i P_{10} są równoznaczne w świetle przyjętego kryterium, tj. ciągłości pełnej informacji radiolokacyjnej. Podobnie ma się sprawa z wariantami P_4 , P_6 , P_7 i P_9 . Najmniej korzystny jest wariant P_2 , odpowiadający wariantowi ugrupowania, w którym zniszczono 31 i 41 krt.

Dokonywanie wyboru wariantu optymalnego w warunkach pewności, gdy znany jest sposób pracy RLS np. S_1 , nie daje jednoznacznego rozwiązania. Wariantami najlepszymi są P_1 , P_3 , P_5 , P_8 i P_{10} , dla których funkcja kryterium osiąga wartość maksymalną $\bar{W} = 0,5108$. W celu więc wyznaczenia wariantu optymalnego, z wymienionych najlepszych wariantów, należałoby zastosować dodatkowe kryterium /np. czas odtworzenia gotowości bojowej przez pododdziały ugrupowania/.

Również i ze względu na sposób S_3 mamy cztery warianty / P_4 , P_6 , P_7 , P_9 /, dla których funkcja kryterium osiąga wartość $\bar{W} = 0,7554$.

W warunkach ryzyka dla prawdopodobieństw $p_1 = 0,2$, $p_2 = 0,5$, $p_3 = 0,3$ najlepszymi są warianty P_4 , P_6 , P_7 i P_9 , dla których wartość funkcji kryterium wynosi $\bar{W} = 0,64677$. Natomiast dla prawdopodobieństw $p_1 = 0,5$, $p_2 = 0,3$, $p_3 = 0,2$ najlepszymi są warianty P_3 , P_5 , P_8 i P_{10} . Tak więc wyznaczenie wariantu najlepszego w danych warunkach, zależy od częstości stosowania określonego sposobu pracy RLS.

Określenie wariantu optymalnego w warunkach niepewności, zależy w zasadniczy sposób od wartości wskaźnika optymizmu - pesymizmu α . I tak dla $\alpha = 0,496$ przyjęcie któregośkolwiek wariantu od P_3 do P_{10} jest równoznaczne. Dla nich wartość funkcji kryterium wynosi $\bar{W} = 0,6014$.

Dla większej wartości $\alpha > 0,496$ najlepsze są warianty P_3 , P_5 , P_8 i P_{10} , natomiast dla wartości $\alpha < 0,496$ najlepsze są warianty P_4 , P_6 , P_7 i P_9 .

Z powyższego widzimy, że i w tym przypadku wybór wariantu najlepszego zależy, od częstości stosowania określonego sposobu pracy RLS.

Z przeprowadzonych obliczeń oraz dyskusji wyników, tak dla przypadku pierwszego jak i drugiego wyniku, że wyznaczenie optymalnego wariantu ugrupowania, zależy w znacznym stopniu od warunków, w jakich podejmuje się decyzję.

I tak dla przypadku pierwszego, w którym oceniano pole radiolokacyjne na powierzchni $S_{RDB}/h/$, można było jednoznacznie wyznaczyć wariant optymalny. W drugim przypadku, gdy oceniano pole radiolokacyjne tylko na wybranych kierunkach powierzchni $S_{RDB} /h/$, nie można było dokonać jednoznacznego wyboru. Otrzymano warianty alternatywne, z których po zastosowaniu dodatkowego kryterium, można by wyznaczyć wariant optymalny, ale w sensie tego dodatkowego kryterium.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

=====

Jednym z najbardziej złożonych elementów ugrupowania bojowego wojsk korpusu OPK są wojska radiotechniczne. Zasadniczym ich celem jest zabezpieczenie działań bojowych aktywnych środków walki korpusu, w szczególności zaś oddziałów lotnictwa myśliwskiego, które nie posiada etatowych środków radiolokacyjnych.

Wojska radiotechniczne cel ten realizują, poprzez wykonywanie jednocześnie następujących zadań:

- 1/ wykrywanie SNP nieprzyjaciela na możliwie największych odległościach od osłoniętych obiektów, ciągłe ich śledzenie oraz dokładne powiadamianie i wskazywanie celów powietrznych wojskom korpusu OPK;
- 2/ naprowadzanie samolotów lotnictwa myśliwskiego na cele powietrzne;
- 3/ przyjmowanie od sąsiadów oraz przekazywanie im we właściwym czasie informacji o celach powietrznych i działaniach własnego lotnictwa.

Te złożone zadania realizuje system radiolokacyjny korpusu OPK, dla którego źródłem informacji pierwotnej jest pole radiolokacyjne. Jest ono tworzone za pomocą rozwiniętych w rejonie obrony korpusu i wyposażonych w odpowiedni sprzęt radiolokacyjny pododdziałów radiotechnicznych.

Ilość i jakość informacji o obiektach znajdujących się w rejonie działań bojowych korpusu OPK, w zasadniczym stopniu zależy od wielkości pola radiolokacyjnego oraz jego parametrów. Określenie niektórych parametrów pola i ich ocena może być dokonana, poprzez wykonanie oblotu systemu rzeczywistego lub na drodze modelowania matematycznego. W pracy uczyniono próbę zastosowania sposobu drugiego.

Wspomniane wyżej dwa różne sposoby podejścia do rozwiązania problemu oceny pola radiolokacyjnego mają swoje zalety i wady.

I tak zasadniczą zaletą pierwszego sposobu jest to, że umożliwia on ocenę systemu rzeczywistego. Wadą natomiast to, że jest on stosunkowo czasochłonny i pracochłonny oraz wymaga dużych nakładów materialnych.

W przypadku drugiego sposobu podejścia do rozwiązania rozpatrywanego problemu, zasadniczą wadą jest konieczność stosowania uproszczeń, potrzebnych przy budowie modelu matematycznego. Natomiast zaletą jest to, że można powtarzać obliczenia wielokrotnie, badać różne warianty ugrupowania, jak również wpływ różnych elementów systemu na jego podstawowe parametry. Wykonać to można w niezbyt długim okresie czasu i przy niewielkich nakładach materialnych.

Zaproponowaną w pracy metodę oceny pola radiolokacyjnego dla wykrywania i śledzenia obiektów na małych wysokościach, z zastosowaniem metod badań operacyjnych oraz wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej, zilustrowano przykładem.

Przedstawiona w przykładzie taktycznym 5 BRT, nie odzwierciedla może w pełni możliwości bojowych aktualnie zorganizowanych i istniejących w wojskach OPK brygad radiotechnicznych. W przykładzie tym pokazano tylko te elementy, które konieczne były do zaprezentowania przedstawionej metody oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach.

Metodę tę można także stosować do oceny pola radiolokacyjnego ugrupowania wojsk radiotechnicznych mniejszego lub większego niż ugrupowanie brygady radiotechnicznej. W pracy za podstawę do oceny przyjęto pola radiolokacyjne, tworzone przez brygadę radiotechniczną, jako zasadniczy związek taktyczny, mogący wykonywać samodzielnie zadania radiolokacyjnego

zabezpieczenia działań bojowych aktywnych środków walki korpusu OPK.

Niemniej jednak opracowane programy obliczeniowe na EMC ODRA 1305, umożliwiają przeprowadzenie badania pola radiolokacyjnego, wytwarzanego już przez pojedynczą stację radiolokacyjną. Natomiast z przypadku ugrupowań większych niż brygada radiotechniczna, należy zadeklarować w programach obliczeniowych odpowiednio większe obszary pamięci operacyjnej.

Przedstawiona metoda, może być także wykorzystana do badania różnych wariantów ugrupowania wojsk radiotechnicznych /w pracy zaprezentowano dziesięć wariantów/, nie koniecznie tylko w przypadku zniszczenia któregośkolwiek z jego elementów. Wykorzystać ją można, do badania pola radiolokacyjnego różnych wariantów ugrupowania, organizowanych na bazie istniejących stałych i zapasowych pozycji /posterunków/ radiolokacyjnych. Metoda ta może być też przydatna do porównywania pola radiolokacyjnego, wytwarzanego przez różne warianty ugrupowania wojsk radiotechnicznych, jak i do badania wpływu poszczególnych jego elementów /np. typ stacji radiolokacyjnej, pozycja techniczna posterunku radiolokacyjnego, wysokość zawieszenia elementów promieniujących anten RLS, sposób rozmieszczenia RLS w rejonie obrony korpusu / na parametry pola.

Dane do prowadzenia badań przedstawionych wyżej problemów, uzyskać można za pomocą programów obliczeniowych na EMC, które umożliwiają:

- 1/ wyznaczanie wartości współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego na dowolnej wysokości /w zakresie wysokości małych i bardzo małych/ dla odległościomierzy, wysokościomierzy oraz pełnej informacji. Wyniki wyprowadzane są dyskretnie w postaci macierzy;
- 2/ wyznaczanie wartości współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego na dowolnej wysokości /w zakresie wysokości małych i bardzo małych/ dla odległościomierzy, wysokościomierzy i pełnej informacji radiolokacyjnej;
- 3/ wyznaczanie wartości współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego na małych wysokościach dla dowolnie obranego kierunku i dowolnej wysokości w rejonie działań bojowych korpusu OPK, z dowolną dyskretnością pomiaru;

- 4/ wyznaczanie wartości współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego na małych wysokościach dla dowolnie wybranego kierunku i dowolnej wysokości w rejonie działań bojowych korpusu;
- 5/ wyznaczanie minimalnych zbiorów stacji radiolokacyjnych zapewniających średnie założone przekrycie pola, dla stałej wartości współczynnika pełnej informacji radiolokacyjnej.

Na podstawie otrzymanych danych, istnieje także możliwość wyznaczania optymalnego wariantu ugrupowania brygady radiotechnicznej dla wybranego kryterium optymalizacji.

Autorowi wydaje się, że mimo uczynionych założeń upraszczających, zaprezentowana metoda podejścia może być wykorzystana do oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach, jak i również do oceny jego efektywności w czasie ćwiczeń, gier wojennych, treningów sztabowych oraz dla celów dydaktycznych. Może ona również służyć, dla celów przeprowadzania przybliżonej oceny istniejącego pola radiolokacyjnego, jak również pomiaru wpływu zmiany niektórych elementów ugrupowania na jego parametry.

Z A K O Ń C Z E N I E

=====

W pracy przedstawiono jedną z wielu możliwych metod oceny pola radiolokacyjnego z zastosowaniem modelowania matematycznego i wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej. Rozpatrzono w szczególności problem oceny pola radiolokacyjnego dla wykrywania i śledzenia obiektów na małych wysokościach.

Wcześniej stwierdziliśmy, że pole radiolokacyjne jest szczególnym fragmentem rzeczywistości, dla którego w pełni nie można zastosować znanych metod teorii badań operacyjnych. Dlatego też, dla rozwiązania przedstawionego problemu przyjęto ogólną metodologię tej nauki.

Zgodnie z nią dokonano analitycznego opisu pola radiolokacyjnego, ze zwróceniem głównej uwagi na wykrywanie i śledzenie obiektów na małych wysokościach, z możliwością zastosowania do jego oceny metod matematycznych. Na podstawie przeprowadzonej analizy, zbudowano model matematyczny, opracowano programy obliczeniowe na EMC ODRA 1305 i wykonano obliczenia dla kilku wariantów przykładowego ugrupowania brygady radiotechnicznej korpusu OPK.

Zaprezentowana metoda podejścia chociaż nie może być wykorzystywana do oceny bezwzględnej wartości systemu radiolokacyjnego, ale może służyć jako miara, do porównywania według określonego kryterium różnych wariantów ugrupowania. Dokonywania spośród nich wyboru najlepszego, który chociaż nie będzie wyborem optymalnym, ale na pewno nie będzie gorszym od wyboru intuicyjnego.

Oczywiście tak przeprowadzona ocena, powinna być traktowana jako wstępne oszacowanie, które należy zweryfikować ze względu na inne kryteria. W tym też sensie należy traktować stosowanie metod teorii badań operacyjnych, za pomocą których decydom powinno dostarczać się koniecznych danych /głównie ilościowych/, potrzebnych przy podejmowaniu decyzji. Zgodnie więc z określeniem J. Czujewa [15], badania operacyjne to nic innego jak "zmatematyzowany zdrowy rozsądek".

Wiele problemów przedstawionych w rozprawie, ze względu na jej rozmiary, jedynie tylko zasygnalizowano. Nie starano się

ich rozwiązać, ze względu na ograniczone możliwości i posiadany warsztat badawczy. Autor uważa, że w dalszej pracy nad tym tematem, w celu zwiększenia adekwatności modelu matematycznego pola radiolokacyjnego z systemem rzeczywistym, a tym samym możliwością szerszego wykorzystywania go dla celów praktycznych, należałoby zwrócić uwagę na następujące problemy:

- 1/ wpływ zakłóceń radiolokacyjnych na parametry pola radiolokacyjnego i jego efektywność;
- 2/ wpływ strefy bliższej pozycji radiolokacyjnej na zasięg wykrywania RLS na małych wysokościach i sposób jego sformalizowanego opisu;
- 3/ sposób odzwierciedlania zaświeceń ekranów wskaźników stacji radiolokacyjnych;
- 4/ adekwatność modelu pola radiolokacyjnego z opisywanym za jego pomocą systemem rzeczywistym.

Przedstawione problemy, nie wyczerpują omawianego tematu. Zresztą nie było to celem niniejszej rozprawy. Autor będzie w pełni usatysfakcjonowany, jeśli przedstawione myśli przyczynią się do dalszej dyskusji na ten temat.

Wykonano w 15 egz.

Egz. nr 1-15 - B.Gł.OZS

Wyk. mjr Stefan Antczak

Druk E.K.

Nr pf-531/pf-2458/WW

L I T E R A T U R A

1. Ackoff R.L. - Decyzje optymalne w badaniach stosowanych, PWN, Warszawa 1969.
2. Ackoff R.L., - Osnovy issledowania operacii, Izd. "MIR", Sasieni M. Moskwa 1971.
3. Adamczyk A., - Możliwości wczesnego wykrycia obiektu powietrznego przez stacje radiolokacyjne, Antczak S., Przegląd WL i WOPK, 10/1976.
4. Adamczyk A., - Metoda określania realnych stref wykrywania stacji radiolokacyjnych na małych wysokościach z uwzględnieniem terenu i przedmiotów terenowych, Grzeszek E. ASG 1974.
5. Analiza szkolenia taktyczno-operacyjnego Połączonych Sił Zbrojnych NATO na rok 1973, Sztab Gen.WP Zarząd II 1974.
6. Barczak A. - Analiza procesów informacyjnych realizowanych w polowym automatyzowanym podsystemie dowodzenia ogólnowojskowego związku taktycznego z zastosowaniem metody symulacji komputerowej /Rozprawa doktorska/, ASG 1976.
7. Barton D. - Radiolokacjonnyje Sistemy /tł.z ang./, Moskwa 1967.
8. Barton R.F. - Wprowadzenie do symulacji i gier, WNT, Warszawa 1974.
9. Bem J.D. - Anteny i rozchodzenie się fal radiowych, WNT, Warszawa 1973.
10. Biuletyn informacyjny Nr 2 /122/, MON, Warszawa 1976.
11. Cegła H. - Brygada Radiotechniczna Wojsk Obrony Powietrznej Kraju, ASG 1975.
12. Charakter współczesnej wojny oraz operacje strategiczne na ETW według poglądów NATO, Sztab.Gen.WP Zarząd II 1971.

- set
RB.
- 12242
TULISZKA
metody oceny efektów
zabójc.
13. Churchman C.,
Ackoff R.
Arnoff E. - Wwiedienije w issledowanie opieracyj
/tł. z ang./, Moskwa 1968.
 14. Ciechanowicz M.
Folcik Z.,
Gozdecki Cz.,
Ręczka Z.,
Skibiński J.,
Zoń A. - Wybrane metody optymalizacji decyzji,
ASG 1969.
 15. Czujew J. - Badania operacji w wojsku, MON,
Warszawa 1973.
 16. Czujew J.,
Mielnikow P.,
Pietuchow S.I.,
Stiepanow G.F.,
Szor J.B. - Podstawy badań operacyjnych w technice
wojskowej, MON, Warszawa 1968.
 17. Dałuchanow M.P. - Rozchodzenie się fal radiowych, PWN,
Warszawa 1965.
 18. Doświadczenia i wnioski z ćwiczenia "WIOSNA-74", MON,
Warszawa 1974.
 19. Erann G.W.
Wallace II G.F.
Sutherland G.L. - Symulacja na maszynach cyfrowych, WNT,
Warszawa 1973.
 20. Feller W. - Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa,
Warszawa 1966.
 21. Filar W. - Badania operacyjne a problemy zaopa-
trywania, MON, Warszawa 1973.
 22. Gałkin W.J. - Radiotechniczeskije pokazatieli radio-
łokacyjnych stancyj, Moskwa 1964.
 23. Germejer J. - Metodologiczeskije i matiematiczeskije
osnowy issledowanije opieracyj w teorii
igr, Moskwa 1967.
 24. Goliew K.W. - Rascziot dalnosti diejstwije radiołoka-
cyjnych stancyj, Moskwa 1962.
 25. Gordon G. - Symulacja systemów, WNT, Warszawa 1974.
 26. Grigorjanc W.G. - Tiechniczeskije pokazatieli radiołoka-
cyjnych stancyj, Moskwa 1964.

27. Hellwig Z. - Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej, PWN, Warszawa 1958.
28. Jarmakow S.M. - Metoda Monte Carlo i zagadnienia pokrewne, PWN, Warszawa 1976.
29. Kilar E. - Modelowanie boju spotkaniowego oddziału /Rozprawa doktorska/, ASG 1976.
30. Kochanskij Ł.E. - Potencjalnyja toczność radioelektronicznych sistem, MDNTP 1972.
31. Latinskij S.M. - Teoria i praktyka eksploatacyj radiolokacyjnych sistem. Moskwa 1970.
32. Luce R.D., Raiffa H. - Gry i decyzje, PWN, Warszawa 1964.
33. Metodicheskije posobie po obuczeniu radiotekhnicheskich wojsk PWO strany bojowej rabotie po niskolietiaszczim i wysotnym celiam, Izd. Nr II/01650 p, T1.
34. Modelowanie nalotów SNP państw NATO, ASG 1973.
35. Obliczanie skuteczności oddziaływania aktywnych zakłóceń na środki radiolokacyjne, DWOPK 1976.
36. Ocena i ważniejsze wnioski o znaczeniu wojskowym z wojny izraelsko-arabskiej, ASG 1974.
37. Pieter J. - Ogólna metodologia pracy naukowej, PAN, Wrocław - Warszawa - Kraków 1967.
38. Podstawy analizy sytuacji powietrznej na stanowiskach dowodzenia Wojsk Radiotechnicznych OPK, DWOPK 1971.
39. Praca zbiorowa, Technika radiolokacji, DWOPK 1972.
40. Przeniczny A. - Korpus Obrony Powietrznej Kraju, ASG 1968.
41. Przygotowanie wojsk radiotechnicznych do prowadzenia działań bojowych w warunkach stosowania zakłóceń radioelektronicznych, DWOPK 1973.

42. Rasiowa H. - Wstęp do matematyki współczesnej, PWE, Warszawa 1971.
43. Sadowski W. - Teoria podejmowania decyzji, PWE, Warszawa 1976.
44. Siwicki J. - Czynniki eksploatacyjno-techniczne sprzętu radiolokacyjnego wpływające na wykrywanie i prowadzenie celów nisko lecących, ASG 1973.
45. Siwicki J. - Normatywy taktyczno-techniczne i zasięgi wykrywania stacji radiolokacyjnych WRT OPK, ASG 1975.
46. Sztarecki M. - Urządzenia radiolokacyjne, WKiŁ, Warszawa 1968.
47. Tactical airpower in NATO Contingencies: A JOINT AIR-BATTLE /GROUND-BATTLE MODEL /TALLY TOTEM/,
A report prepared for United States Air Force Project Rand, Rand, Santa Monica 1974.
48. Taktyka Wojsk Radiotechnicznych Wojsk Obrony Powietrznej Kraju, DWOPK 1977.
49. Uchański J. - Metoda i treść pracy dowódcy i sztabu KOPK podczas wypracowywania decyzji do działań bojowych, ASG 1976.
50. Wakin S.A., Szustow L.N. - Zasady przeciwdziałania radioelektronicznego, MON, Warszawa 1972.
51. Wentzel E. - Wstęp do badań operacyjnych /tł.z ros./, ASG 1968.
52. Wybrane problemy organizacyjne i taktyczno-operacyjne Wojsk OPK, Zbiór prac akademii 2/60/, ASG 1973.

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ PRZYJĘTYCH W PROGRAMACH
=====

A. DANE WEJŚCIOWE

1. DX, DY - wymiary elementarnego prostokąta siatki;
2. WPX1, WPY1 - współrzędne topograficzne początku układu siatki;
3. IX1 - maksymalna ilość linii rzędów siatki;
4. JY1 - maksymalna ilość linii kolumn siatki;
5. IX0, IX, JY0, JY - współrzędne linii rzędów i kolumn siatki dla wybranego prostokąta rzutu rejonu działań bojowych;
6. K1 - maksymalna ilość pododdziałów radiotechnicznych;
7. L1 - maksymalna ilość różnych typów RLS znajdujących się w wyposażeniu pododdziałów brygady radiotechnicznej;
8. L2 - maksymalna ilość RLS typu odległościomierz;
9. M1 - maksymalna ilość różnych /dyskretnych/ wartości skutecznej powierzchni odbicia;
10. M2 - numer odpowiadający określonej wartości skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego;
11. N1 - maksymalna ilość punktów opisujących rzut rejonu działań bojowych korpusu OPK w programie WPRL /w programie KPOL - maksymalna ilość punktów opisujących trasę wybranego kierunku w badanym polu radiolokacyjnym/;
12. MW - wskaźnik sposobu wydruku wykazu radiolokacyjnych posterunków;
13. JHP - zadana początkowa wielkość mnożnika dla wyznaczenia wysokości oceny pola;
14. JHK - zadana końcowa wielkość mnożnika dla wyznaczenia wysokości oceny pola;

15. JKR - zadana wielkość zmiany wysokości oceny pola;
 16. DH - zadany przyrost wysokości oceny pola;
 17. HO - wysokość oceny pola, określona z zależności

$$HO = J1 \cdot DH$$

gdzie:

$$J1 = JHP + n \cdot JKR, \quad n = 0, 1, \dots, E \left[\frac{JHK - JHP}{JKR} \right];$$

18. KPP1 - wskaźnik wyprowadzania wynikowej macierzy /wektora/ współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego dla prawdopodobieństwa wykrywania $P_w \gg PWS$, przy czym

$$KPP1 = \begin{cases} 1, & \text{wyprowadzić macierz /wektor/;} \\ 0, & \text{nie wyprowadzać;} \end{cases}$$

19. KPP2 - wskaźnik wyprowadzania wynikowej macierzy /wektora/ współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego dla prawdopodobieństwa wykrywania

$$P_w \gg 1 - /1 - PWS/^2, \text{ przy czym}$$

$$KPP2 = \begin{cases} 1, & \text{wyprowadzić macierz /wektor/;} \\ 0, & \text{nie wyprowadzać;} \end{cases}$$

20. KTES, KTES1 - wskaźniki sposobów pracy RLS przy wykorzystaniu urządzenia TES, przy czym

1/ KTES=0, KTES1=0 - praca z wyłączonym urządzeniem TES;

2/ KTES=1, KTES1 = 1 - praca z włączonym urządzeniem TES;

3/ KTES=1, KTES1=0 - praca mieszana;

21. KSOP - wskaźnik sposobu oceny pola radiolokacyjnego, przy czym

$$KSOP = \begin{cases} 1, & \text{ocena pola na wysokości HO względem poziomu morza;} \\ 0, & \text{ocena pola na wysokości HO względem powierzchni terenu;} \end{cases}$$

22. KPRO - wskaźnik sposobu oceny pola radiolokacyjnego wytwarzanego przez odległościomierz, przy czym

$$KPRO = \begin{cases} 0, & \text{ocena pola bez eliminowania niektórych} \\ & \text{RLS z ugrupowania;} \\ n, & \text{ocena pola z eliminowaniem niektórych} \\ & \text{RLS z ugrupowania dla wartości współ-} \\ & \text{czynnika przekrycia } n = 1, 2, \dots; \end{cases}$$

23. KPRW - jak wyżej w odniesieniu do wysokościomierzy;
24. PWS - zadana wielkość prawdopodobieństwa wykrywania obiektów powietrznych za pomocą urządzeń radiolokacyjnych;
25. OBT - zadana dyskretność badania pola radiolokacyjnego na danym kierunku;
26. $\begin{matrix} [H_{ij}] \\ I \times J \end{matrix}$ - macierz opisująca wysokości rozpatrywanego terenu, przy czym
 H_{ij} /i, j/ - charakterystyczna wysokość terenu elementarnego prostokąta o współrzędnych
 $X_i = WPX_i + /i-1/ DX;$
 $Y_j = WPY_j + /j-1/ DY;$
27. $\begin{matrix} [X_B, Y_B] \\ N \times 1 \end{matrix}$ - wektor współrzędnych opisujących rzut rejonu działań bojowych korpusu OPK, przy czym
 $X_{B/n/}, Y_{B/n/}$ - współrzędne topograficzne n-tego wierzchołka wieloboku wypukłego opisującego rzut rejonu działań bojowych korpusu OPK;
28. $\begin{matrix} [X_T, Y_T] \\ N \times 1 \end{matrix}$ - wektor współrzędnych opisujących trasę badanego kierunku, przy czym
 $X_{T/n/}, Y_{T/n/}$ - współrzędne topograficzne n-tego punktu łamanej opisującej trasę badanego kierunku;
29. $\begin{matrix} [X_C, Y_C] \\ K \times 1 \end{matrix}$ - wektor współrzędnych pozycji technicznej pododdziałów radiotechnicznych, przy czym
 $X_{C/k/}, Y_{C/k/}$ - współrzędne topograficzne pozycji technicznej k-tego pododdziału radiotechnicznego;

30. [HK]
K1x1 - wektor wysokości pozycji technicznej pododdziałów radiotechnicznych, przy czym
HK/k/ - bezwzględna wysokość pozycji technicznej k-tego pododdziału radiotechnicznego;
31. [HLK]
L1xk1 - macierz wysokości zawieszenia elementów promieniujących anten urządzeń radiolokacyjnych, przy czym
HLK /1,k/ - względna wysokość zawieszenia elementu promieniującego anteny 1-tego urządzenia radiolokacyjnego w k-tym pododdziale radiotechnicznym /włącznie z wysokością nasypu, na którym ustawiona jest antena/;
32. [WPR]
L1xk1 - macierz wyposażenia pododdziałów radiotechnicznych, przy czym
WPR /1,k/ - ilość urządzeń radiolokacyjnych 1-tego typu znajdujących się w wyposażeniu k-tego pododdziału radiotechnicznego;
33. [WHR]
L1xm1 - macierz współczynników wykorzystania horyzontu radiowego, przy czym
WHR /1,m/ - średnia wartość współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego urządzenia radiolokacyjnego 1-tego typu dla skutecznej powierzchni odbicia obiektu o wielkości m;
34. [TES]
L1x1 - wektor współczynników zasięgu stacji radiolokacyjnych z urządzeniem TES, przy czym
TES /1/ - współczynnik zasięgu wykrywania stacji radiolokacyjnej 1-tego typu po włączeniu urządzenia TES;

35. $[RSM]$
 $L1 \times 1$ - wektor promieni stref martwych, przy czym
 $RSM/l/$ - promień strefy martwej urządzenia
radiolokacyjnego l-tego typu;
36. $[DLKM]$
 $L1 \times k1$ - macierz promieni zaświeceń ekranów wskaźni-
ków RLS, przy czym
 $DLKM /l,k/$ - średni promień zaświeceń ekranu
wskaźnika RLS l-tego typu w k-tym pododdziale
radiotechnicznym;
37. $[NRLP]$
 $K1 \times 1$ - wektor numerów pododdziałów radiotechnicz-
nych, przy czym
 $NRLP/k/$ - numer taktyczny k-tego pododdziału
radiotechnicznego.

B. DANE POŚREDNIE

1. $[XQ, YQ]$ - wektor współrzędnych przecięcia linii rzędów
 $IQ1 \times 1$ siatki, przy czym
 $XQ /q/, YQ/g/$ - współrzędne q-tego punktu
przecięcia linii rzędów siatki
przez rzut prostej łączącej
badany punkt terenu z punktem
rozwińnięcia RLS;
2. $[XP, YP]$ - wektor współrzędnych przecięcia linii
 $IP1 \times 1$ kolumn siatki, przy czym
 $XP/p/, YP /p/$ - współrzędna p-tego punktu
przecięcia linii kolumn siatki
przez rzut prostej łączącej
badany punkt terenu z punktem
rozwińnięcia RLS;
3. $[HDQ]$
 $IQ1 \times 1$ - wektor zdeterminowanych wysokości terenu w
punktach przecięcia linii rzędów siatki,
przy czym
 $HDQ /q/$ - zdeterminowana wysokość terenu
w punkcie $/XQ/q/, YQ/q/ /$;

4. $[HDP]$
 $IP_{1 \times 1}$ - wektor zdeterminowanych wysokości terenu w punktach przecięcia linii kolumn siatki, przy czym
 $HDP/p/$ - zdeterminowana wysokość terenu w punkcie $/XP /p/, YP/p/ /;$
5. $[XK, YK]$
 $K_{1 \times 1}$ - wektor współrzędnych pododdziałów radiotechnicznych w skali siatki, przy czym
 $XK/k/, YK/k/$ - współrzędne prostokątne k-tego pododdziału radiotechnicznego w skali mapy;
6. $[DPQ]$
 $IQ_{1 \times 1}$ - wektor odległości linii rzędów, przy czym
 $DPQ/q/$ - odległość od punktu $/XQ/q/, YQ/q//$ do punktu $/XK/k/, YK/k/ /, dla K=1, 2, \dots, K_1;$
7. $[DPP]$
 $IP_{1 \times 1}$ - wektor odległości linii kolumn, przy czym
 $DPP/p/$ - odległość od punktu $/XP/p/, YP/p/$ do punktu $/XK/k/, YK/k/, dla K=1, 2, \dots, K_1.$

C. DANE WYNIKOWE

1. WSWO - współczynnik ciągłości stref wykrywania odległościomierzy;
2. WSWW - współczynnik ciągłości stref wykrywania wysokościomierzy;
3. WSPI - współczynnik ciągłości stref pełnej informacji radiolokacyjnej;
4. WPIK - współczynnik ciągłości stref pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziałów radiotechnicznych;
5. X_1, Y_1 - współrzędne topograficzne początku układu siatki;
6. DX, DY - wymiary elementarnego prostokąta siatki;
7. $[SWO]$
 $I \times J$ - macierz współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego odległościomierzy, przy czym
 $SWO/i, j/$ - wartości współczynnika przekrycia pola radiolokacyjnego odległościomierzy;

mierzy w punkcie $/X_i, Y_j, h = \text{const}/$,
gdzie: $X_i = X_1 + /i-1/ DX$;
 $Y_j = Y_1 + /j-1/ DY$;

8. $[S_{WW}]_{I \times J}$ - macierz współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego wysokościomierzy, przy czym $S_{WW} /i,j/$ - wartość współczynnika przekrycia pola radiolokacyjnego wysokościomierzy w punkcie $/X_i, Y_j, h = \text{const}/$ gdzie: X_i, Y_j - jak punkt 7;
9. $[S_{PI}]_{I \times J}$ - macierz współczynników przekrycia pełnej informacji radiolokacyjnej, przy czym $S_{PI} /i,j/$ - wartość współczynnika przekrycia pola radiolokacyjnego równa wartości $S_{WO} /i,j/$ dla $S_{WW} /i,j/ \geq 1$, w danym punkcie $/X_i, Y_j, h = \text{const}/$, gdzie: X_i, Y_j - jak punkt 7;
10. $[S_{PIK}]_{I \times J}$ - macierz współczynników przekrycia pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziałów radiotechnicznych, przy czym $S_{PIK} /i,j/$ - wartość współczynnika przekrycia pola radiolokacyjnego równa ilości pododdziałów, dla których wartości współczynników $S_{WO} /i,j/ \geq 1$ i $S_{WW} /i,j/ \geq 1$ w punkcie przestrzeni $/X_i, Y_j, h = \text{const}/$, gdzie: X_i, Y_j - jak punkt 7;
11. $[S_{WO}]_{K3/N \times I}$ - macierz współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego odległościomierzy na trasie badanego kierunku, przy czym $S_{WO} /n,i/$ - wartość współczynnika przekrycia pola radiolokacyjnego odległościomierzy w punkcie $/X /n,i/, Y /n,i/, h = \text{const}/$, gdzie: $X /n,i/, Y /n,i/$ określone są zależnością /4.2/;

12. [SWW]
K3/N/XI - macierz współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego wysokościomierzy na trasie badanego kierunku, przy czym
SWW /n,i/ - wartość współczynnika przekrycia pola radiolokacyjnego wysokościomierzy w punkcie /X /n,i/, Y/n,i/, h = const/, gdzie: X /n,i/, Y /n,i/ określone są zależnością /4.2/;
13. [SPI]
K3/N/xI - macierz współczynników przekrycia pełnej informacji radiolokacyjnej na trasie badanego kierunku, przy czym
SPI /n,i/ = SWO /n,i/ dla SWW /n,i/ \geq 1 w punkcie /X /n,i/, Y/n,i/, h = const/, gdzie: X /n,i/, Y /n,i/ określone są zależnością /4.2/;
14. [SPIK]
K3/N/XI - macierz współczynników przekrycia pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziałów radiotechnicznych na trasie badanego kierunku, przy czym
SPIK /n,i/ - ilość pododdziałów radiotechnicznych, dla których wartości współczynników przekrycia SWO /n,i/ \geq 1 i SWW /n,i/ \geq 1 w punkcie /X /n,i/, Y /n,i/, h = const/, gdzie: X /n,i/, Y /n,i/ określone są zależnością /4.2/.

Programy oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach
na EMC ODRA 1305

1. Program oceny pola radiolokacyjnego na małych wysokościach
- WPRL

Program ten opracowano zgodnie z algorytmem przedstawionym na rys.3.9. Umożliwia on wykonanie obliczeń współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego dla dowolnie zadanej wysokości /w zakresie małych wysokości/. Wysokość tę zadaje się w sposób dyskretny, przez podanie wartości początkowej h_0 , wielkości przyrostu wysokości Δh oraz jej wartości górnej. Wielkości te podaje się w metrach. Ocenę pola wykonywać można na wysokości bezwzględnej /stała wysokość względem powierzchni kuli ziemskiej przyjęta na poziomie morza/ i wysokości względnej /stała wysokość względem powierzchni ziemi/.

Wartość współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego wyprowadzona jest z dokładnością 10^{-4} i zawiera się w granicach od 0 do 1.

W celu dokonania oceny pola radiolokacyjnego odległościomierzy, wysokościomierzy, jak również zabezpieczenia w pełną informację radiolokacyjną, wyprowadzane są oddzielne współczynniki. Dla pełnej informacji wyprowadzane są dwa współczynniki. Jeden z nich nazwany WSPI - dotyczy stref pełnej informacji radiolokacyjnej i wskazuje na możliwości określania pełnej informacji radiolokacyjnej za pomocą środków radiolokacyjnych całego ugrupowania BRT^{1/}.

Natomiast drugi współczynnik, nazwany współczynnikiem ciągłości stref pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziałów radiotechnicznych /oznaczony przez WPIK/, wskazuje na możliwości pola w określaniu pełnej informacji, z tym że

1/ Współrzędne biegunowe i rozpoznanie obiektów określa się za pomocą RLS znajdujących się w jednym pododdziale, natomiast wysokość może być określana za pomocą stacji należących do innych pododdziałów, w zasięgu których istnieje możliwość jej wyznaczenia.

współrzędne biegunowe, wysokość i rozpoznanie określa się za pomocą środków radiolokacyjnych tego samego pododdziału.

Wartości współczynników wyprowadzane mogą być dla dwóch wartości prawdopodobieństwa wykrywania. Dla $P_w \geq PWS$ oraz $P_w \geq 1-1-PWS/2$, gdzie PWS - założona wartość prawdopodobieństwa wykrywania pojedynczej RLS.

W celu graficznego zobrazowania możliwości wykrywania, określania wysokości oraz określania pełnej informacji radiolokacyjnej, program umożliwia wykonywanie wydruków w postaci macierzy współczynników przekrycia. Wydawnictwa te, nazwane są przekrojami poziomymi pola radiolokacyjnego wykrywania na małych wysokościach. Są one wykonywane oddzielnie dla odległościomierzy, wysokościomierzy i pełnej informacji radiolokacyjnej. Wydruki wykonywać można dla prawdopodobieństw wykrywania $P_w \geq PWS$ oraz $P_w \geq 1-1-PWS/2$.

Oddzielne wydawnictwo stanowi przekrój poziomy stref pełnej informacji radiolokacyjnej pododdziałów radiotechnicznych, wykonywane dla prawdopodobieństwa wykrywania nie mniejszego niż PWS.

Wydruk każdej macierzy posiada opisane współrzędne. Z lewej strony - współrzędną X, natomiast u dołu - współrzędną Y. W celu zwiększenia przejrzystości opisu nie są podawane wartości dziesiętne współrzędnej Y.

Współrzędne^{2/} dowolnego elementu macierzy przekrycia określić można z zależności

$$X_i = X_1 + /i-1/ \cdot DX, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad /1/$$

$$Y_j = Y_1 + /j-1/ \cdot DY, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

gdzie:

X_1, Y_1 - współrzędne topograficzne początku układu współrzędnych macierzy;

DX, DY - zadane wielkości boków elementarnego prostokąta siatki;

i, j - wartości współrzędnych odczytane z macierzy.

2/ Są to współrzędne topograficzne terenu leżącego w rejonie działań bojowych rozpatrywanego ugrupowania.

Wartości X_1, Y_1, DX, DY podawane są na początku wydruku po nazwie "WSPÓŁRZĘDNE". Przykłady takich wydruków zawiera załącznik Nr 7.

Wartości elementów macierzy podawane są za pomocą liczb naturalnych, z tym, że zamiast zera drukowana jest kropka. Wartość ta odpowiada ilości stacji, za pomocą których z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż PWS /lub $1-1-PWS/2$ /, wykryć można obiekt i określić jego współrzędne biegunowe i rozpoznanie lub wysokość. W przypadku przekroju poziomego stref pełnej informacji radiolokacyjnej, wartość elementu macierzy wskazuje ilość stacji, które mogą określać współrzędne biegunowe i rozpoznanie, przy założeniu, że istnieje co najmniej jedna stacja określająca wysokość. Natomiast w macierzy dotyczącej stref pełnej informacji radiolokacyjnej, wartość elementu wskazuje ilość pododdziałów, które mają możliwość określania pełnej informacji radiolokacyjnej.

Program umożliwia również dokonanie wyboru najmniejszego zbioru stacji radiolokacyjnych

$$Z' C Z, \quad /2/$$

przy czym $Z = /Z_i/$, $i = 1, 2, \dots, I$ jest zbiorem stacji radiolokacyjnych znajdujących się w ugrupowaniu P_b , takiego, że wytworzone przez nie pole radiolokacyjne $V_{Z_i}/h/$ nie będzie mniejsze niż pole wytworzone przez stacje całego ugrupowania, czyli

$$V_{Z_i} /h/ = V_Z /h/ \quad /3/$$

Przykłady wydruków zawiera załącznik Nr 8.

Dla łatwiejszego posługiwania się wydrukami macierzy współczynników przebycia, w tablicy Nr 1 /załączniki Nr 7 i Nr 8/ podany jest wykaz numerów pododdziałów radiotechnicznych i ich położenie we współrzędnych wydruku.

2. Program oceny pola radiolokacyjnego dla wybranego kierunku na małych wysokościach - KPOL

Program opracowano w oparciu o algorytm omówiony w punkcie 3.9.2. Umożliwia on wyznaczenie współczynnika ciągłości pola radiolokacyjnego na zadanym kierunku lotu obiektu, dla dowolnie zadanej wysokości /również tak samo jak w przypadku poprzedniego programu - w zakresie małych wysokości/. Sposób zadawania wysokości jest taki sam, jak dla omówionego już programu.

Wartości współczynników ciągłości pola radiolokacyjnego wyprowadzane są z dokładnością 10^{-4} i zawierają się w granicach od 0 do 1.

Podobnie jak w przypadku programu WPRL, ten program umożliwia określenie współczynników pola odległościomierzy, wysokościomierzy oraz pełnej informacji radiolokacyjnej. Jednakże wartości współczynników odzwierciedlają możliwości wykrywania, śledzenia i określania charakterystyk obiektów tylko na zadanych kierunkach ich lotu, w przeciwieństwie do poprzedniego programu, gdzie były one średnimi wartościami w odniesieniu do całej powierzchni $S_{RDB}/h/$.

Wartości współczynników mogą być określane w zależności od potrzeb dla prawdopodobieństw wykrywania $P_w \geq PWS$ i $P_w \geq 1-1-PWS/2$.

Program ten umożliwia dokonanie oceny pola radiolokacyjnego na dowolnym kierunku opisanym za pomocą współrzędnych topograficznych. Współrzędne te określają położenie końców odcinków aproksymujących dany kierunek. Pole może być oceniane w punktach, z dowolnie założoną dyskretnością.

W wyniku działania programu oprócz wydruku wartości wspomnianych współczynników, otrzymuje się dla całej trasy badanego kierunku wartości współczynnika przekrycia pola odległościomierzy, wysokościomierzy, pełnej informacji i pełnej informacji pododdziałów radiotechnicznych w postaci wektora przekrycia. Wartości składników wektora podawane są dla punktów trasy o współrzędnych

$$X_{ni} = XT /n/ + /i-1/ \cdot OBT \cdot \sin \alpha \quad /4/$$

$$Y_{ni} = YT/n/ + /i-1/ \cdot OBT \cdot \sin \beta$$

$$n = 1, 2, \dots, N1$$

$$i = 1, 2, \dots, K3/n/$$

przy czym

$$\sin \alpha = \frac{XT/n+1/ - XT/n/}{d_n}$$

$$\sin \beta = \frac{YT/n+1/ - YT/n/}{d_n}$$

$$d_n = \sqrt{/XT/n+1/-XT/n/ /^2 + /YT/n+1/-YT/n/ /^2}$$

gdzie:

OBT - zadana dyskretność badania pola radiolokacyjnego na danym kierunku;

N1 - ilość odcinków aproksymujących dany kierunek;

K3/n/ - ilość punktów, w których ocenia się pole, przy czym

$$K3/n/ = E \left[\frac{d_n}{OBT} \right];$$

$\left. \begin{array}{l} XT/n/, YT/n/ \\ XT/n+1/, YT/n+1/ \end{array} \right\}$ - współrzędne topograficzne początku i końca n-tego odcinka aproksymującego dany kierunek.

Wartości składników wektora współczynników przekrycia mają taką samą interpretację, jak wartości elementów macierzy współczynników przekrycia omówione w poprzednim punkcie.

Wektor współczynnika przekrycia drukowany jest oddzielnie dla każdego n-tego odcinka. Dla każdego takiego wektora podawane są współrzędne odcinkowe kierunku, we współrzędnych topograficznych i współrzędnych opisujących macierze współczynników przekrycia, otrzymywane za pomocą programu WPRL. Dodatkowo podawana jest informacja o ilości badanych punktów /IOBT/.

W celu łatwiejszego posługiwania się wynikami pomiarów, na wydawnictwie wynikowym podawane są współrzędne topograficzne początku siatki opisującej dany teren i oznaczone przez X_1 i Y_1 . Oprócz nich podaje się rozmiary boków elementarnego prostokąta siatki - DX_1 i DY_1 oraz zadaną dyskretność pomiaru OBT.

Przykłady wydruków zamieszczone są w załączniku Nr 8. W tabelicy Nr 3 tego załącznika podawany jest wykaz pododdziałów oraz ich współrzędne, które zabezpieczają wykrywanie i śledzenie obiektów na badanym kierunku.

PRZYGOTOWANIE DANYCH WEJŚCIOWYCH

=====

do programu obliczeniowego WPRL odbywa się według
następującego schematu:

1. Dane STAŁE:

- 1.1. DX DY K1 L1 L2 M1 N1 IX1 JY1 WPX1 WPY1
- 1.2. HIJ/I,J/, I=1,JY1

2. Dane ZMIENNE:

- 2.1. XB/N/ YB/N/, N=1,N1
- 2.2. TES/L/, L=1,L1
- 2.3. WHR/L,M/, L=1,L1 M=1,M1
- 2.4. RSM/L/, L=1,L1 PWS

Wariant Nr 1

- 2.5. XC/K/ YC/K/, K=1,K1
- 2.6. DLKM /L,K/, L=1,L1 K=1,K1
- 2.7. WPR/L,K/, L=1,L1 K=1,K1
- 2.8. HLK/L,K/, L=1,L1 K=1,K1
- 2.9. HK/K/, K=1,K1
- 2.10. NRLP/K/,K=1,K1

Wariant Nr 1-A

- 2.11. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP KPRO KPRW
M2 IXO JYO IX JY JHP JHK JKR DH

Wariant Nr 1-B

- 2.11. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP KPRO KPRW
M2 IXO JYO IX JY JHP JHK JKR DH

Wariant Nr1-C

- 2.11. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP KPRO KPRW
M2 IXO JYO IX JY JHP JHK JKR DH

2.12. * /gwiazdka/

Wariant Nr 2

.....

Wariant Nr 2-A

.....

Wariant Nr 2-B

.....

Wariant Nr2-C

.....

.....

2.13. ** /dwie gwiazdki/ - koniec zbioru danych.

PRZYGOTOWANIE DANYCH WEJŚCIOWYCH

do programu obliczeniowego KPOL odbywa się według następującego schematu:

1. Dane STAŁE

1.1. Dx DY K1 L1 L2 M1 MW IX1 JY1 WPx1 WPY1

1.2. HIJ /I,J/, I = 1,IX1 J = 1, JY1

2. Dane ZMIENNE

2.1. TES /L/, L = 1,L1

2.2. WHR /L,M/, L = 1,L1 M = 1,M1

2.3. RSM /L/, L = 1,L1

Wariant Nr 1

=====

2.4. XC/K/ YC/K/, K = 1,K1

2.5. DLKM/L,K/, L = 1,L1 K = 1,K1

2.6. WPR/L,K/, L = 1,L1 K = 1,K1

2.7. HLK/L,K/, L = 1,L1 K = 1,K1

2.8. HK /K/, K = 1,K1

2.9. NRLP/K/, K = 1,K1

Wariant Nr 1 - A1

2.10. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP M2 N1 IXO JYO
IX JY OBT

2.11. XT/N/ YT/N/, N = 1,N1

Wariant Nr 1 - B1

2.10. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP M2 N1 IXO JYO
IX JY OBT

2.11. XT/N/ YT/N/, N = 1,N1

Wariant Nr 1 - C1

2.10. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP M2 N1 IXO JYO
IX JY OBT

2.11. XT/N/ YT/N/ , N = 1,N1

Wariant Nr 1 - A2

2.10. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP M2 N1 IXO JYO
IX JY OBT

2.11. XT/N/ YT/N/ , N = 1,N1

Wariant Nr 1 - B2

2.10. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP M2 N1 IXO JYO
IX JY OBT

2.11. XT/N/ YT/N/ , N = 1,N1

Wariant Nr 1 - C2

2.10. KPP1 KPP2 KTES KTES1 KSOP M2 N1 IXO JYO
IX JY OBT

2.11. XT/N/ YT/N/ , N = 1,N1

2.12.* /gwiazdka/

Wariant Nr 2

.....

Wariant Nr 2 - A1

.....

Wariant Nr 2 - C2

.....

.....

2.13.** /dwie gwiazdki/ - koniec zbioru danych

Z E S T A W I E N I E

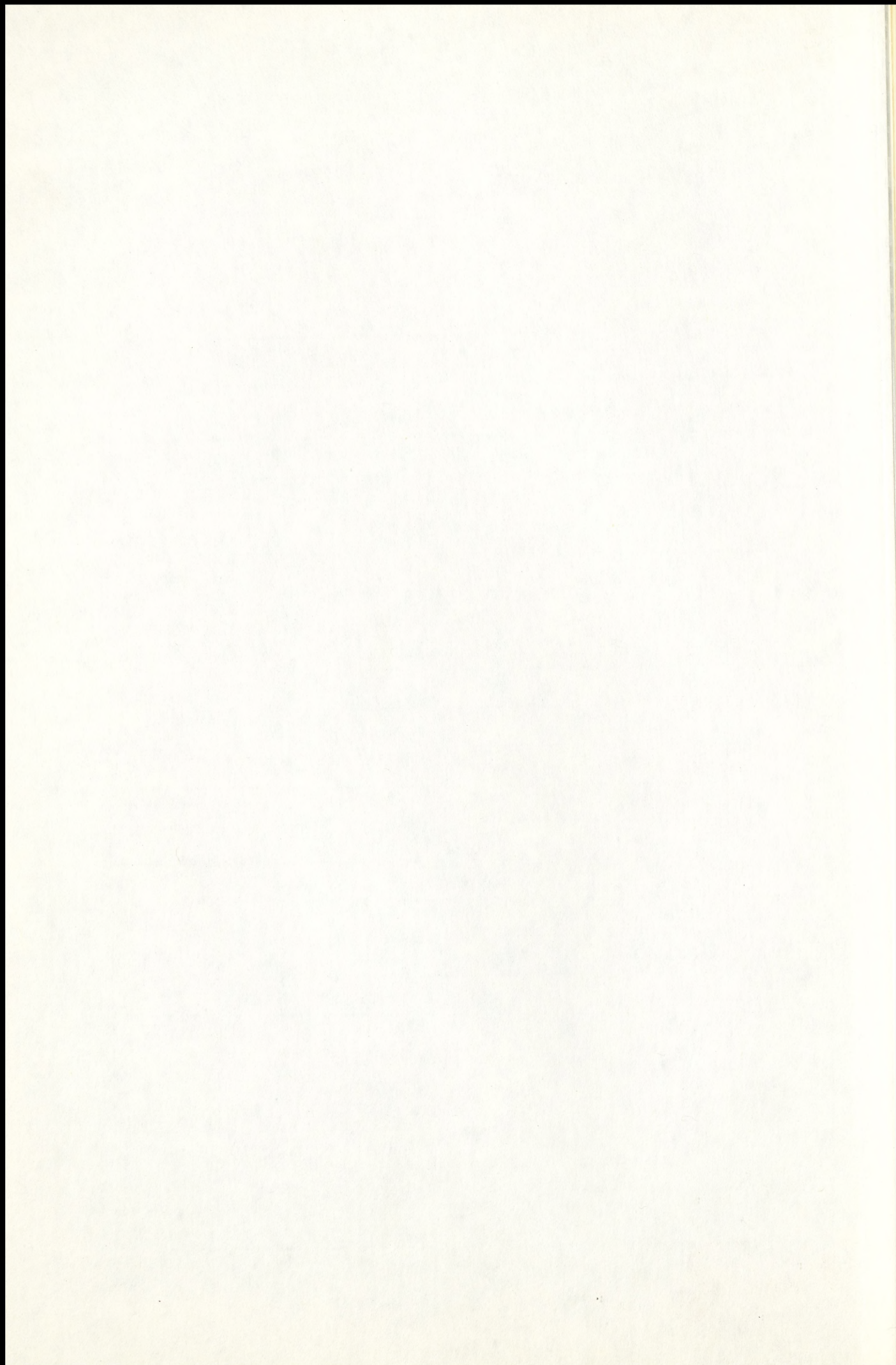
współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego na wysokości $h = 300m$, dla $P_w > 0,50$

W A R I A N T U G R U P O W A N I A										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WSNO	S ₁	0,4248	0,4907	0,4855	0,5055	0,4925	0,5087	0,5197	0,5017	0,5069
	S ₂	0,4578	0,5226	0,5313	0,5417	0,5457	0,5793	0,5752	0,5648	0,5561
	S ₃	0,6852	0,5758	0,6626	0,6753	0,6753	0,7095	0,7095	0,7037	0,6968
WSPW	S ₁	0,4583	0,4340	0,4213	0,4468	0,4271	0,4821	0,5000	0,4763	0,4873
	S ₂	0,5168	0,4178	0,4983	0,5087	0,5075	0,5399	0,5411	0,5307	0,5278
	S ₃	0,6626	0,5434	0,6395	0,6528	0,6487	0,6858	0,6881	0,6811	0,6748
WSP1	S ₁	0,4045	0,3108	0,3796	0,3929	0,3750	0,3958	0,4126	0,4763	0,3993
	S ₂	0,4919	0,3999	0,4688	0,4826	0,4844	0,5168	0,5150	0,5046	0,5012
	S ₃	0,6256	0,5122	0,6019	0,6176	0,6140	0,6510	0,6516	0,6447	0,6377
WPK	S ₁	0,3987	0,3061	0,3721	0,3848	0,3698	0,3860	0,4005	0,3791	0,3877
	S ₂	0,4907	0,3999	0,4682	0,4815	0,4838	0,5162	0,5139	0,5046	0,5006
	S ₃	0,6215	0,5087	0,5966	0,6100	0,6100	0,6470	0,6464	0,6400	0,6331

Z E S T A W I E N I E
 = = = = =

współczynników przekrycia pola radiolokacyjnego dla
 wybranych kierunków na wysokości. $h = 300m$.

WARIANT UGRUPOWANIA			KIERUNEK Nr1		KIERUNEK Nr2			
			1 do 6	7 do 10	1	2	3,5,8,10	4,6,7,9
WSWO	$P_w \geq 0,50$	S ₁	0,5754	0,6313	0,7554	0,6043	0,7626	0,6835
		S ₂	0,6257	0,6704	0,6763	0,5827	0,6906	0,7482
		S ₃	0,7542	0,7598	0,8417	0,7554	0,8633	0,9281
	$P_w \geq 0,75$	S ₁	0,3687	0,3799	0,5468	0,3813	0,5324	0,4604
		S ₂	0,5698	0,5754	0,6043	0,5180	0,6187	0,6763
		S ₃	0,6592	0,6648	0,6835	0,5899	0,6978	0,7626
WSWT	$P_w \geq 0,50$	S ₁	0,3966	0,5028	0,6547	0,4892	0,6691	0,5683
		S ₂	0,6034	0,6313	0,6259	0,5180	0,6475	0,7050
		S ₃	0,6648	0,7207	0,7914	0,6763	0,8129	0,8633
	$P_w \geq 0,75$	S ₁	0,3631	0,4749	0,5971	0,4460	0,6115	0,5180
		S ₂	0,5754	0,6089	0,6187	0,5108	0,6403	0,6978
		S ₃	0,6536	0,7095	0,7770	0,6619	0,7986	0,8489
WSP1	$P_w \geq 0,50$	S ₁	0,3855	0,4693	0,6259	0,4820	0,6331	0,5612
		S ₂	0,6034	0,6313	0,6187	0,5180	0,6331	0,6835
		S ₃	0,6648	0,7207	0,7770	0,6763	0,7986	0,8633
	$P_w \geq 0,75$	S ₁	0,3631	0,3687	0,5108	0,3669	0,5108	0,4460
		S ₂	0,5698	0,5754	0,5971	0,5036	0,6115	0,6619
		S ₃	0,6536	0,6592	0,6763	0,5755	0,6906	0,7554
WPIK	$P_w \geq 0,50$	S ₁	0,3631	0,3687	0,5108	0,3669	0,5108	0,4460
		S ₂	0,5698	0,5754	0,5971	0,5036	0,6115	0,6619
		S ₃	0,6536	0,6592	0,6763	0,5755	0,6906	0,7554



PRZEKROJ POZIOMY PŁA RADIOLOKACYJNEGO WYKRYWANIA NA MAŁYCH WYSOKOŚCIACH

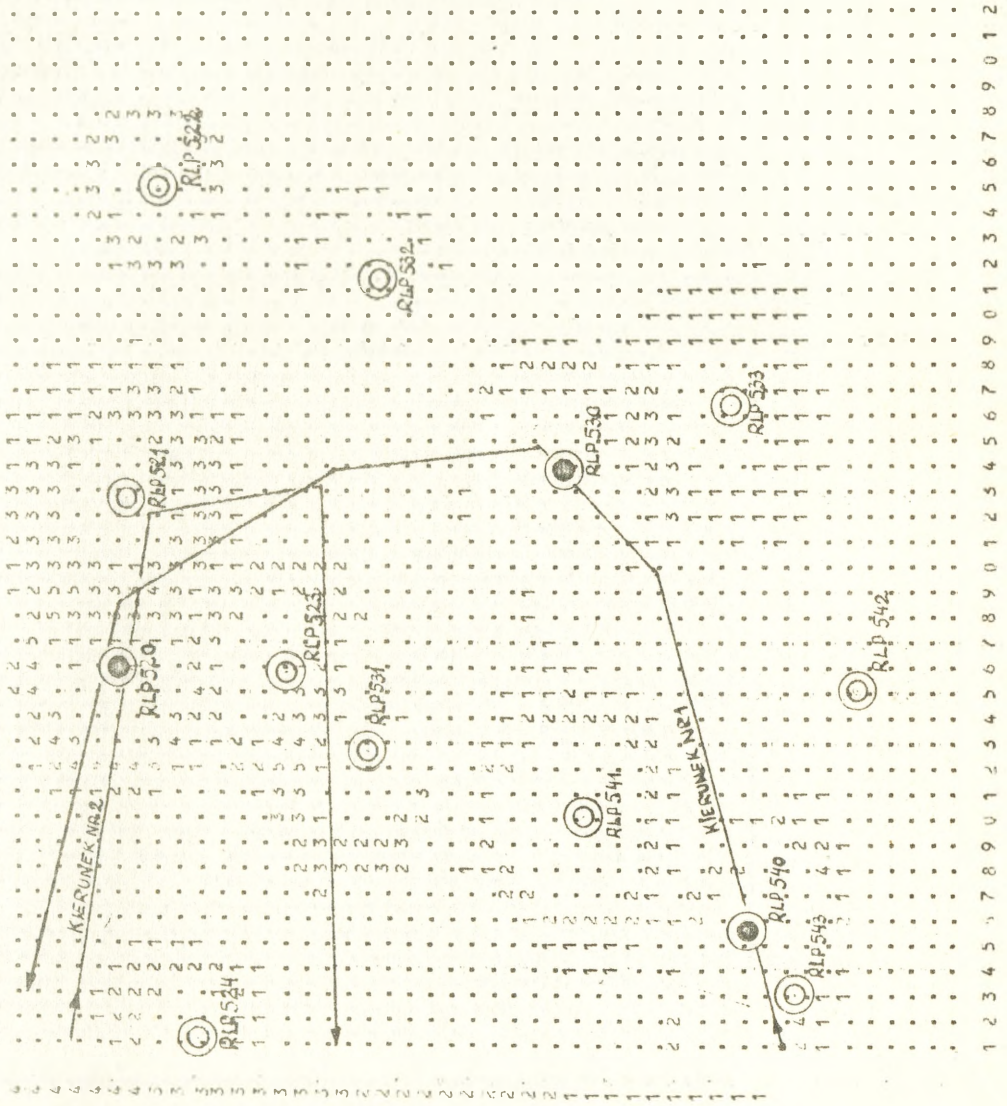
DL: H0=100 KPP1=1 KPP2=1 KTES=0 KTES=0 KTES=0 KSOP=0 M2=1

WSPÓŁZĘDNE : X1=5472 Y1=4372 DX= 0 DY= 0

WARIANT 1-A

DLA PŁAUDOPROBIEI STA WYKRYWANIA PR=0,20

DLA OBLĘGACIOMIERZY



WARTOSCI WSPOLCZYNNIKOW CIAGLOSCI POLA RADIOLOKACYJNEGO : H0=100

DLA PRAWDOPODOBNIENSTWA WYKRYCIA CONAJMNIEJ 0.50

WSM=0.2645 WSMW=0.2205 MSPI=0.1777

DLA PRAWDOPODOBNIENSTWA WYKRYCIA CONAJMNIEJ 0.75

WSM=0.1285 WSMW=0.1753 MSPI=0.1186

WSPOLZEDNE PASTERUNKOW RADIOLOKACYJNYCH

TAPLICA NR. 1

IR	520	521	522	523	524	525	530	532	533	540	541	542	543	0	0
LP															
X	41	40.6	39.0	55.9	37.2	29.0	19.6	28.5	11.7	10.9	8.7	5.7	8.6	0.0	0.0
Y	16	22.7	35.1	15.9	1.1	11.7	22.9	31.4	26.4	5.6	10.1	15.2	3.1	0.0	0.0

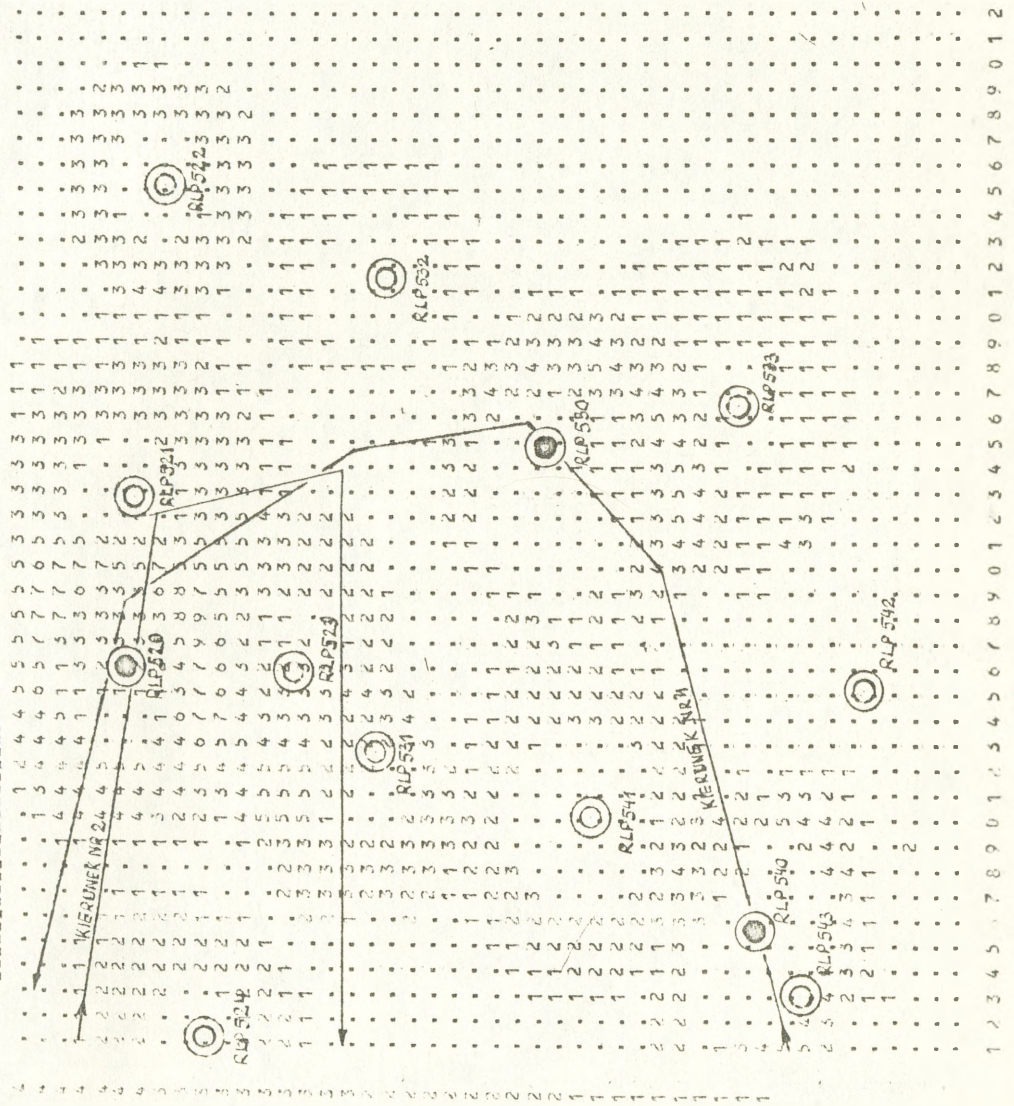
PRZEKROJ POZIOMY DLA RADIOLUKACYJNEGO WYKRYWANIA NA PALYCH WYSOKOSCIACH

WARIANT 1-A

DL: H0=300 KPT1= KPP2=F1 KTES=0 KTES1=0 KSUP=0 M2=1
 WSPOLCZEDNE : X1=5472 Y1=4572 DX= 8 DY= 8

DLA PRZYKŁADU DLA STWA WYKRYWANIA PH=0,50

DLA OZLEGLOSCIUMIERY



POLE RADIOLUKACYJNE NA WYSOKOSCI H=500 NA ZALOZONYM KIERUNKU

WARIANT 1-A1

DL:1 KPD1=1 KPP2=1 KTES=0 KTES1=0 KSOP=0 M2=1
WSPOLRZEDNE REJONU OBRONY: XT=5472 Y1=4372 DX1=360 DY1=328
DX=8 DY=8 ONT=3

DLA PRAHDOPDOBIEJSTWA WYKRYWANIA NIE MNIEJSZEGO OD 0.50

WSPOLRZEDNE UDCINKOWE KIERUNKU: XT(1)=5529.0(8.1) YT(1)=4372.0(1.0)
XT(2)=5585.0(15.1) YT(2)=4522.0(19.7)
IOBT(1)= 54

DLA ODLEGLOSCIOMIERZY

5 5 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 1 0 1 4 2 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 2 3 5

DLA WYSOKOSCIOMIERZY

4 4 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 2 1 0 0 0 4 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 5 5 5

DLA PEJNEJ INFORMACJI

5 5 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 0 0 0 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 3 5

DLA PEJNEJ INFORMACJI RADIOLUKACYJNEJ PODDZIALOW RADIOTECHNICZNYCH

1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1

WSPOLRZEDNE UDCINKOWE KIERUNKU: XT(2)=5585.0(15.1) YT(2)=4522.0(19.7)
XT(3)=5625.0(19.9) YT(3)=4563.0(24.0)
IOBT(2)= 19

DLA ODLEGLOSCIOMIERZY

3 3 3 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0

DLA WYSOKOSCIOMIERZY

3 3 2 2 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

3 3 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ PODDZIAŁÓW RADIOTECHNICZNYCH

1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

WSPÓLNE UDŁINKOWE KIERUNKU: XT(3)=5625.0(19.9) YT(3)=4563.0(24.0)
 XT(4)=5710.0(30.7) YT(4)=4555.0(25.0)
 IORT(3)= 30

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 3 3 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 2 3 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 3 3 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ PODDZIAŁÓW RADIOTECHNICZNYCH

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PRAWDOPODOBIENSTWA WYKRYWANIA NIE MNIEJSZEGO OD 0,75

WSPÓLNE UDŁINKOWE KIERUNKU: XT(1)=5529.0(8.1) YT(1)=4372.0(1.0)
 XT(2)=5585.0(15.1) YT(2)=4522.0(19.7)
 IORT(1)= 34

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

5 5 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

6 4 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0

POLE RADIOLOKACYJNE NA WYSOKOSCI M0=500 NA ZALOZONYM KIERUNKU
=====

WARIANT 1-A4

DLA: KPP1=1 KPP2=1 KTES=0 KTES1=0 KSOP=0 M2=1
WSPOLRZEDNE REJONU OBRONY: X1=5472 Y1=4372 DX1=360 DY1=328
DX= 8 DY= 8 ORT= 3

DLA PRAKTYCZNYCH WYKRYWANIA NIE MNIEJSZEGO OD 0.50

WSPOLRZEDNE ODCINKOWE KIERUNKU: XT(1)=5529.0(8.1) YT(1)=4372.0(1.0)
XT(2)=5585.0(15.1) YT(2)=4522.0(19.7)
IOBT(1)= 54

DLA ODLEGLOSCIOMIERZY

5 5 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 3 3 6 7 8 7 5 5 5 3 3 3 3 2
2 1 1 1 2 2 2 2 3 4 4 5 5

DLA WYSOKOSCIOMIERZY

4 4 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 2 2 2 2 2 0 5 5 6 6 9 5 3 5 2 2 2 2
2 2 2 2 1 1 1 3 5 5 5 5 5

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

5 5 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 3 3 0 7 8 7 5 5 5 3 3 5 3 2
2 1 1 1 2 2 2 2 3 4 4 5 5

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ PODDZIAŁU RADIOTECHNICZNYCH

1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 2 2 2 3 3 3 2 2 2 2 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

WSPOLRZEDNE ODCINKOWE KIERUNKU: XT(2)=5585.0(15.1) YT(2)=4522.0(19.7)
XT(3)=5625.0(19.9) YT(3)=4563.0(24.0)
IOBT(2)= 19

DLA ODLEGLOSCIOMIERZY

5 4 3 3 1

DLA WYSOKOSCIOMIERZY

5 3 2 2 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

5 4 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLUKACYJNEJ PODODZIAŁU RADIOTECHNICZNYCH

1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

WSPÓLZĘDNE ODLEGŁOŚCI W KIERUNKU: XT(5)=5525.0(19.9) YT(5)=4563.0(24.0)
 XT(4)=5710.0(30.7) YT(4)=4555.0(23.0)
 IORT(5)= 50

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

1 1 0 0 0 0 0 0 2 2 2 4 4 3 3 2 2 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

0 0 0 0 0 0 0 0 1 2 2 3 3 3 3 3 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 4 4 3 3 2 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLUKACYJNEJ PODODZIAŁU RADIOTECHNICZNYCH

0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PRAWDOPODOBIEŃSTWA WYKRYWANIA NIE MNIEJSZEGO OD 0,75

WSPÓLZĘDNE ODLEGŁOŚCI W KIERUNKU: XT(1)=5529.0(8.1) YT(1)=4372.0(1.0)
 XT(2)=5585.0(15.1) YT(2)=4522.0(19.7)
 IORT(1)= 54

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

5 5 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 2
 2 0 0 0 2 2 2 2 3 4 4 5 5

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

4 4 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
 2 2 2 2 0 0 0 0 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 2

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

5 4 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 3 3 0 7 8 7 5 5 3 3 3 3 3 3 2
2 0 0 0 2 2 2 2 3 4 4 5 5

WSPÓLNE UDCINKOWE KIERUNKU: XT(2)=585.0(15.1) YT(2)=4522.0(19.7)
XT(3)=525.0(19.9) YT(3)=4563.0(24.0)
IOBT(2)= 19

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

5 4 3 3 0

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

3 3 2 2 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

5 4 3 3 0

WSPÓLNE UDCINKOWE KIERUNKU: XT(3)=5625.0(18.9) YT(3)=4563.0(24.0)
XT(4)=570.0(30.7) YT(4)=4555.0(25.0)
IOBT(3)= 50

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 4 4 5 3 2 2 0

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 3 3 5 3 3 3 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 4 4 5 3 2 2 0

POLE RADIOLOKACYJNE NA WYSOKOSCI H=1000 NA ZALOZONYM KIERUNKU
 =====

WARIANT 1-A2

DLA: KPT1=1 KPP2=7 KTES=0 KTES1=0 KSUP=0 M2=1
 WSPOLRZEDNE REJONU OBRONY: X1=5472 Y1=4372 DX1=360 DY1=528
 DX= 8 DY= 8 ORI= 3

DLA PRAUPODOBIE-SIWA WYKRYWANIA NIE MNIEJSZEGO OD 0.50

WSPOLRZEDNE UDLINKOWE KIERUNKU: XT(1)=5810.0(43.3) YT(1)=4372.0(1.0)
 XT(2)=5780.0(39.5) YT(2)=4540.0(22.0)
 IGBT(1)= 57

DLA ODLEGLOSCIOMIERZY

0
 0 1 1 1 1 3 3 3 3 3 4 3 1 0 0 0 0

DLA WYSOKOSCIOMIERZY

0
 0 0 0 0 2 2 2 2 2 4 3 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

0
 0 0 0 0 1 3 3 3 3 3 4 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ PODDZIAŁOM RADIOTECHNICZNYCH

0
 0 0 0 0 1 1 1 1 1 2 0 0 0 0 0

WSPOLRZEDNE UDLINKOWE KIERUNKU: XT(2)=5780.0(39.5) YT(2)=4540.0(22.0)
 XT(3)=5715.0(31.4) YT(3)=4550.0(23.2)
 IGBT(2)= 22

DLA ODLEGLOSCIOMIERZY

0 0 0 0 1 3 3 3 3 3 3 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA WYSOKOSCIOMIERZY

0 0 0 0 0 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

0 0 0 0 0 3 3 3 3 3 7 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ PODDZIAŁOW RADIOTECHNICZNYCH

0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0

WSPÓLZĘDNE UDŁINKOWE KIERUNKU: XT(3)=5715.0(31.4) YT(3)=4550.0(23.2)
 XT(4)=5710.0(30.7) YT(4)=4372.0(1.0)
 IGBT(3)= 00

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

0
 3 3 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

0
 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI

0
 3 3 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PEŁNEJ INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ PODDZIAŁOW RADIOTECHNICZNYCH

0
 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA PRAWDOPODOBIEŃSTWA WYKRYWANIA NIE MNIEJSZEGO OD 0.75

WSPÓLZĘDNE UDŁINKOWE KIERUNKU: XT(1)=5810.0(43.3) YT(1)=4372.0(1.0)
 XT(2)=5780.0(39.5) YT(2)=4540.0(22.0)
 IGBT(1)= 57

DLA ODLEGŁOŚCIOMIERZY

0
 0 0 0 0 0 3 3 3 3 4 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

DLA WYSOKOŚCIOMIERZY

0
 0

WYKAZ RLS I RLP ZAPEWNIJĄCYCH ŚREDNIE PRZEKRYCIE POLA RADIOLOKACYJNEGO KPO=2 KP=1=2

TABLICA NR 2

I NR RLP	I 520	I 521	I 522	I 523	I 524	I 529	I 530	I 532	I 533	I 540	I 541	I 542	I 543	I 0
I NR RLS	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 1	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 3	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 4	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 5	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 6	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 7	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 8	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 9	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 10	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 11	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I 12	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I



BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIW
Akademii Obrocy Nro
11057

~~91027~~
SEKRETY
GEN. ERK. SIVIBL. P. W. 1951