AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
KATEDRA ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO I ARMII OBCYCH

Do użytku służbowego

Egz. Nr 2

Ppłk dypl. inż. Bogdan BEZOŃ

MODEL ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Rozprawa doktorska

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/2473
05-002473-002-0

54842

WARSZAWA 1994

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH

KATEDRA ROZPOZNANIA WOJSKOWEGO I ARMII OBCYCH

DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Egz nr 2

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 54842
Akademii Obrony Narodowej

ppłk dypl.inż. Bogdan BEZOŃ

MODEL ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Rozprawa doktorska

Opracowana pod kierownictwem naukowym

płk. prof. dr. hab. inż. Waldemara BRZOSTKA

WARSZAWA 1994

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE 5
1. SYSTEMY DOWODZENIA JAKO PODMIOT ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO 11
1.1. Infrastruktura systemu dowodzenia 17
1.2. Sytuacja radiowa 33
1.3. Mobilność dowodzenia 46
1.4. Wnioski 48

2. AKTUALNY POTENCJAŁ ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO 59
2.1. Możliwości rozpoznania radiowego związku operacyjnego 60
2.2. Możliwości zakłóceń radiowych związku operacyjnego 73
2.3. Wnioski 79

3. PODSTAWOWE KOMPONENTY ORAZ UWARUNKOWANIA FUNKCJONALNE I ORGANIZACYJNE MODELU ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO 83
3.1. Zasadnicze wymagania stawiane współczesnemu i perspektywicznemu modelowi rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego 84
3.2. Właściwości fizyczne podmiotu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego 88
3.3. Interpretacja kształtu pożądanego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego 124
3.4. Automatyzacja modelu 154
3.5. Zasadnicze fazy realizacji programu przebudowy modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego 162
3.6. Wnioski 164

ZAKOŃCZENIE 165

BIBLIOGRAFIA 169

WPROWADZENIE

Niniejsza rozprawa jest efektem wieloletnich badań. Niektóre fakty zbierane były jeszcze na długo przed wszczęciem przewodu doktorskiego i miały charakter poznania potocznego. Z okresu tego pochodzą zbiory, co prawda jeszcze bardzo nieuporządkowane naukowo, ale skupiające się już w swej masie wokół problemów związanych z rozpoznaniem i walką radioelektroniczną.

Wzbogacana systematycznie wiedza i treści poznawcze stały się motywem podjęcia studiów doktorskich i wyselekcjonowania uporządkowanego zbioru podstaw przednaukowych do skonkretyzowania dwóch głównych i następująco brzmiących problemów:

PROBLEM POZNAWCZY

Jaki powinien być kształt pożądanego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych systemów telekomunikacji wojskowej na szczeblu związku operacyjnego?

PROBLEM REALIZACYJNY

Co należy uczynić aby ustalone wymagania do pożądanego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowego związku operacyjnego, wyodrębnione w procesie naukowego poznania, wdrożyć do praktyki?

Wstępna analiza zgromadzonego zbioru faktów, w aspekcie rozwiązania powyższych problemów oraz nabyte doświadczenie z udziału w pracy naukowo-badawczej realizowanej w Katedrze Rozpoznania Wojskowego i Armii Obcych pk. "Rozpoznanie i Walka" (pozycja planu prac naukowo-badawczych AON: 19/3.14.), a także przestudiowana dodatkowo literatura przedmiotu, pozwoliły na sformułowanie hipotezy wstępnej o następującej treści:

HIPOTEZA WSTĘPNA

Kształt obiektywnie pożądanego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych telekomunikacji wojskowej wyznaczany jest parametrami technicznymi oraz organizacyjnymi podmiotu rozpoznania i zakłóceń radiowych, którym jest system dowodzenia strony przeciwnej. Tylko trafna parametryzacja tego podmiotu oraz obiektywne zdefiniowanie procesów funkcjonalnych w modelu

rozpoznania i zakłóceń radiowych mogą doprowadzić do rozwiązań pozytywnych.

Racjonalne wdrażanie pożądanego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych do wojsk, winno wynikać z wcześniej wypracowanego programu przebudowy, uwzględniającego wszystkie aspekty tego przedsięwzięcia, a nade wszystko techniczne i finansowe.

Próba teoretycznego rozwiązania problemów, w aspekcie weryfikowania hipotezy wstępnej, spowodowała potrzebę przeprowadzenia wielu analiz, porównań, analogii, badania sądów, a nade wszystko opinii ekspertów i dalszego studiowania literatury przedmiotu. W następstwie tego wyłoniła się potrzeba podzielenia problemów głównych na mniejsze zakresowo elementy i zhierarchizowania procedury naukowego poznania według następującej kolejności:

W RAMACH ROZWIĄZYWANIA PROBLEMU POZNAWCZEGO

1. Jaka jest infrastruktura systemu dowodzenia, jako podmiotu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego?

2. Jaka jest sytuacja radiowa w systemie dowodzenia będącym podmiotem rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego?

3. Jaka jest "mobilność" systemu dowodzenia będącego podmiotem rozpozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego?

4. Jakie są właściwości fizyczne podmiotu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego?

5. Które parametry podmiotu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego są najbardziej reprezentatywne dla potrzeb racjonalnie funkcjonującego modelu?

6. Jakie związki i zależności fizyczne odzwierciedlają najbardziej reprezentatywne procesy zachodzące w rozpoznaniu i zakłócaniu radiowym związku operacyjnego?

7. Jaki jest stan fizyczny aktualnego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego?

8. W jakim stopniu aktualny stan fizyczny rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego jest kompatybilny z jego podmiotem oddziaływania?

W RAMACH ROZWIĄZYWANIA PROBLEMU REALIZACYJNEGO

1. Jakie cechy organizacyjne i jakie następstwa materialne charakteryzować będą proces wdrażania nowego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego?

2. Jakie etapy organizacyjne należy wyróżnić w procesie wdrażania nowego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych i czym się one będą charakteryzowały aby całe przedsięwzięcie uczynić rozwiązaniem najbardziej racjonalnym?

Nowe fakty naukowe, w następstwie których rozwinięto (uszczegółowiono) procedurę poznania (sformułowano szczegółowe problemy badawcze), pozwoliły również na wysunięcie hipotez roboczych jako podmiotu weryfikacyjnego prowadzącego już do poznania naukowego.

HIPOTEZY ROBOCZE

1. Infrastrukturę systemu dowodzenia, jako podmiotu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego, wyznacza głównie podsystem łączności radiowej UKF i częściowo podsystem łączności radiowej KF. Usytuowane są one na powierzchni około 50 000 km^2 o wymiarach 80 x 600 km. Na obszarze tym znajdować się może od 8 000 do 12 000 radiowych źródeł promieniowania energii elektromagnetycznej.

Podsystemy łączności radiowej (UKF i KF) zintegrowane są z podsystemami łączności radioliniowej (horyzontalnej i troposferycznej), satelitarnej i przewodowej.

Stopień wykorzystywania poszczególnych podsystemów w procesie dowodzenia ukierunkowany jest na maksymalne eksploatowanie relacji łączności przewodowej, radioliniowej i satelitarnej. Łączność radiowa wykorzytywana jest głównie przez użytkowników będących w ruchu i dotyczy przede wszystkim relacji pracujących w paśmie fal ultrakrótkich. Relacje pracujące w paśmie fal krótkich organizowane są głównie jako kanały łączności rezerwowej.

2. Sytuację radiową w systemie dowodzenia wyznacza przestrzeń wielowymiarowa z parametrami mierzalnymi. W przestrzeniach tych ulokowane

są informacje, których wartości zawierają się w częstotliwościach, gęstościach mocy, sposobach promieniowania energii elektromagnetycznej i miejscach ulokowania ich źródeł. W przestrzeniach tych realizowane są przedsięwzięcia ukierunkowane na techniczne utajnianie treści logicznych informacji z bardzo dużymi mocami kryptograficznymi oraz na ukrywanie faktów samego promieniowania energii.

3. Mobilność systemu dowodzenia wyznaczają trzy formy przejawiania się czasu. Jest to fakultatywny czas planowania operacji, realny czas przebiegu operacji oraz czas akcji i reakcji. Dla procesu kierowania walką i operacją czas akcji i reakcji jest najistotniejszy.

4. Podmiotem rozpoznania i zakłóceń radiowych jest informacja zawarta w złożonych strukturach energii elektromagnetycznej. Fakt ten w znacznym stopniu utrudnia realizowanie podstawowych przedsięwzięć z tego zakresu.

5. Podstawowymi parametrami rzutującymi na proces rozpoznania i zakłóceń radiowych są: dostępność elektromagnetyczna; gęstość energii elektromagnetycznej w przestrzeni; kompatybilność częstotliwościowa; czas trwania emisji sygnału elektromagnetycznego i jego cechy identyfikacyjne.

6. Wszystkie procesy zachodzące w rozpoznaniu i zakłócaniu radiowym są funkcjami jednoznacznie interpretującymi zjawiska w wielowymiarowej przestrzeni elektromagnetycznej. Przy ich wykorzystaniu można dość precyzyjnie definiować elementy modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych.

7. Aktualnie funkcjonujący model rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego jest niedostosowany do realizacji podstawowych zadań wynikających z jego przeznaczenia. Jest mało kompatybilny z podmiotem oddziaływania.

8. Proces przebudowy modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego powinien być realizowany etapowo i z taką hierarchizacją celów na jaką pozwala aktualny potencjał naukowo-techniczny i możliwości materialne.

Hipotezy robocze nr 1, 2, 3, 5, 7 i 8 weryfikowano głównie przy szerokim stosowaniu metod indukcyjnych i dedukcyjnych. Przeprowadzone w ramach tego analizy, syntezy, porównania i analogie umożliwiły rozwiązanie cząstkowych

problemów poznawczych (problemów nr 1, 2, 3, 5, 7 i 8). Hipotezy robocze nr 4 i 6 weryfikowano natomiast metodami modelowania matematycznego stosując przy tym narzędzia właściwe probabilistyce i analizie matematycznej. W następstwie tego rozwiązany został cząstkowy problem poznawczy nr 4 i cząstkowy problem poznawczy nr 6.

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 1 umożliwiła rozwiązanie cząstkowego problemu poznawczego nr 1. W następstwie tego opracowany został podrozdział nr 1.1., w którym zawarto treści interpretujące infrastrukturę systemu dowodzenia będącą podmiotem rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego.

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 2 umożliwia rozwiązanie cząstkowego problemu poznawczego nr 2. W następstwie tego opracowany został podrozdział nr 1.2., w którym zawarto treści interpretujące sytuację radiową w podmiocie rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego.

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 3 umożliwia rozwiązanie cząstkowego problemu poznawczego nr 3. W następstwie tego opracowany został podrozdział nr 1.3., w którym zawarto treści interpretujące mobilność dowodzenia występującą w podmiocie rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego.

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 4 umożliwia rozwiązanie cząstkowego problemu poznawczego nr 4. W następstwie tego opracowany został podrozdział nr 3.2., w którym zawarto treści interpretujące fizyczne właściwości podmiotu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego.

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 5 umożliwiła rozwiązanie cząstkowego problemu poznawczego nr 5. W następstwie tego opracowano podrozdział nr 3.1., w którym zawarto treści definiujące podstawowe wymagania stawiane współczesnemu i perspektywicznemu modelowi rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego.

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 6 umożliwiła rozwiązanie cząstkowego problemu poznawczego nr 6. W następstwie tego opracowano podrozdział nr 3.3., w którym zawarto matematyczny kształt pożądanego modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego.

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 7 umożliwiła rozwiązanie cząstkowych problemów poznawczych nr 7 i nr 8. W następstwie tego opracowano podrozdziały nr 2.1. i nr 2.2., w których zawarto treści interpretujące aktualne możliwości rozpoznania radiowego związku operacyjnego (podrozdział nr 2.1.) i aktualne możliwości zakłóceń radiowych związku operacyjnego (podrozdział nr 2.2.).

Weryfikacja hipotezy roboczej nr 8 umożliwiła rozwiązanie obydwóch cząstkowych problemów realizacyjnych. W następstwie tego opracowano podrozdział nr 3.4., w którym zinterpretowano zasadnicze fazy realizacji programu przebudowy modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego.

1. SYSTEMY DOWODZENIA JAKO PODMIOT ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

"Sprawne i umiejętne dowodzenie jest koniecznym lecz niewystarczającym warunkiem zwycięstwa, natomiast dowodzenie niesprawne i nieumiejętne jest wystarczającym warunkiem niepowodzenia"

L. KULESZYŃSKI

Pojęcie systemu dowodzenia, chociaż często używane w literaturze przedmiotu, jest różnie definiowane.

Słownik podstawowych terminów wojskowych definiuje system dowodzenia jako uporządkowaną - zgodnie z zasadami sztuki wojennej - całość złożoną z organów i środków dowodzenia sprzężonych ze sobą informacyjnie i zapewniającą podejmowanie stosownych decyzji na wszystkich szczeblach organizacyjnych sił zbrojnych oraz ich sprawną, terminową i bezwzględną realizację.

Piotr SIENKIEWICZ[1] podaje definicję "system dowodzenia to taki system działania, który realizuje procesy informacyjno-decyzyjne, niezbędne do zapewnienia osiągnięcia zamierzonych celów działania (walki, bitwy, operacji) przez walczące wojska".

Leszek KULESZYŃSKI[2] powołując się na Małą encyklopedię powszechną odszedł od definicji systemu dowodzenia, rozpatrując jedynie pojęcie samego systemu. Dalej stwierdza, że materialnymi elementami systemu dowodzenia wojskami są organa i środki dowodzenia.

---

[1] Piotr SIENKIEWICZ, "Inżynieria systemów", Wyd. MON, Warszawa 1983 r., s. 237.

[2] Leszek KULESZYŃSKI, "Dowodzenie a cybernetyka", Wyd. MON Warszawa 1967 r.

Natomiast Waldemar BRZOSTEK[1] definiuje to pojęcie jako "zbiór zespołów ludzkich, zasad, środków materialnych i metod postępowania, ujęty w ścisłe ramy organizacyjne z zadaniem zdobywania, zbierania, przekazywania, gromadzenia, przetwarzania i przedstawiania w czytelnej dla człowieka formie niezbędnych w procesie dowodzenia wiadomości, w celu umożliwienia organom dowodzenia różnych szczebli:

- analizy i oceny sytuacji, podjęcia decyzji i wydania odpowiednich rozkazów i zarządzeń;

- usprawnienia planowania działań oraz ich koordynacji i realizacji, jak też kontroli wykonania rozkazów i zarządzeń z tym związanych".

Na podstawie przytoczonych przykładów można sformułować wniosek, że definicje są tworzone przez autorów pod kątem założonego celu, prezentacji, bądź prowadzonych badań.

Kierując się tym wnioskiem, można by stworzyć jeszcze jedną definicję systemu dowodzenia. Nie jest to jednak konieczne bowiem niemal wszystkie definicje i to zarówno przytoczone jak i nieprzytoczone, jako elementy składowe systemu dowodzenia wyróżniają organa dowodzenia i środki dowodzenia, a to zdaniem autora daje dostateczną bazę do rozważań w aspekcie radioelektronicznego oddziaływania na ten system. Bowiem organa i środki dowodzenia znajdujące się na stanowiskach dowodzenia odpowiednio rozmieszczonych w określonym obszarze, tworzą infrastrukturę przestrzenną systemu, natomiast promieniowana przez te środki energia elektromagnetyczna tworzy określoną sytuację radioelektroniczną.

Pomimo tego, że organa dowodzenia zostały wymienione jako główny element składowy systemu dowodzenia, nie będą poddane głębszej analizie, a jedynie uwzględnione przy rozpatrywaniu infrastruktury systemu.

Wynika to z analizy dotychczas podejmowanych prac z tej dziedziny, która wyraźnie wykazuje wyższość tych, w których rozważana problematyka przywiązana była wyłącznie do istoty zjawisk fizycznych rządzących procesami walki w tym również radioelektronicznej, bez udziału czynnika ludzkiego.

---

[1] Waldemar BRZOSTEK, "Automatyzacja procesów dowodzenia", Zeszyt Naukowy nr 2, Wyd. ASG WP 1987 r.

Kompleksowe rozpatrywanie problematyki wykorzystania sprzętu bojowego, wespół z trudnym do mierzenia wkładem ludzkiego wysiłku i umiejętności, okazywało się najczęściej subiektywne i mało wiarygodne.

Takie podejście nie ma oczywiście na celu pomniejszenia roli człowieka w systemie, pozwala natomiast skupić się na problematyce zjawisk fizycznych związanych z procesem rozpoznania i obezwładniania radiowego. Poza tym, coraz dalej posunięta informatyzacja i automatyzacja procesu działań bojowych, począwszy od wykrywania celów, a skończywszy na ich porażeniu powoduje, że wiele czasochłonnych funkcji spełnianych wcześniej przez człowieka przejmują urządzenia techniczne, pozostawiające użytkownikowi decyzję o ich użyciu. Owe zabiegi mają w konsekwencji na celu skrócenie do minimum czasu reakcji oraz maksymalne zwiększenie efektywności działań bojowych.

Te dwa kryteria, w treści których mieszczą się fundamentalne prawa rządzące procesem każdej walki i operacji, determinują również wysiłki czynione nad doskonaleniem systemów dowodzenia.

Przeprowadzone badania wykazały istnienie dwóch typów systemów dowodzenia. W państwach Europy Środkowej i Wschodniej - tradycyjnych, wyraźnie wyodrębnionych i autonomicznie funkcjonujących; oraz w państwach członkowskich NATO - nowoczesnych, integrujących szereg spełnianych funkcji w jedną całość. Podstawowe funkcje nowoczesnego systemu dowodzenia to:

- dowodzenie i kierowanie;
- kontrola rozumiana jako nadzór działalności własnych wojsk;
- łączność;
- rozpoznanie i wywiad.

Skład, struktura organizacyjna, rozmieszczenie przestrzenne elementów systemu oraz więzi informacyjne i funkcjonalne występujące między nimi, pozwalają na spełnienie następujących zadań:

- zbieranie danych z obszaru działań bojowych;
- wspomaganie pracy dowódcy i sztabu w procesie analizy i oceny sytuacji, planowania oraz podejmowania decyzji;
- wspomaganie przegrupowania i manewru wojsk;
- automatyzacja kierowania środkami walki;

- usprawnienie kontroli wykonania zadań i przebiegu operacji.

Ogólną ideę funkcjonalną opisywanego systemu ilustruje rysunek 1.1.



Rys. 1.1. Schemat funkcjonalny systemu dowodzenia.

Węzłowymi elementami tego systemu są stanowiska i punkty dowodzenia. W miejscach tych odbywa się gromadzenie i analizowanie danych dotyczących przeciwnika, wojsk własnych i terenu, wypracowywanie decyzji (komend) oraz ich dystrybucja do wykonawców. Są to więc centralne ogniwa tego systemu.

Aby stanowiska i punkty dowodzenia mogły należycie spełniać swoją rolę, specjaliści wojskowi uważają, że oprócz odpowiedniego usytuowania ich w ugrupowaniu bojowym wojsk powinny jeszcze posiadać:

1) odpowiednio zorganizowany system zdobywania i napływu danych o przeciwniku i zajmowanym przez niego terenie;

2) odpowiednio zorganizowany system kontroli wojsk własnych;

3) niezawodnie funkcjonujący system łączności.

W odniesieniu do systemu zdobywania i napływu informacji o przeciwniku oraz zajmowanym przez niego terenie uważa się, że istniejący stan nie zabezpiecza jeszcze w wystarczającym stopniu potrzeb dowodzenia i kierowania.

Zakłada się, że problem ten zostanie rozwiązany przez udoskonalony system gromadzenia i dystrybucji danych rozpoznawczych. Polegać ma to na tym, że wszystkie dane rozpoznawcze, zdobywane z określonych obszarów, trafiać mają do centralnego banku danych, a stąd - w interesującym wymiarze (na zapotrzebowanie) do poszczególnych użytkowników.

W konsekwencji tego, dowództwa i sztaby szczebli taktycznych wzbogacone zostaną wynikami rozpoznania szczebli nadrzędnych i sąsiadów, a w tym również wynikami rozpoznania satelitarnego i wywiadu.

Natomiast wyższe szczeble dowodzenia dysponować będą dokładnymi danymi o przeciwniku w całym obszarze swojego zainteresowania, łącznie z dokładną sytuacją w strefie taktycznej. Jednym z warunków funkcjonowania takiego systemu będzie niezawodnie funkcjonująca łączność w skali globalnej.

W odniesieniu do kontroli wojsk własnych uważa się, że nie mniej ważnymi od wiadomości o przeciwniku, są w procesie dowodzenia i kierowania dane o położeniu i sytuacji wojsk własnych oraz skutkach ich działania. Ocenia się, że dopiero gruntowna i obiektywna analiza jednych i drugich grup informacji oraz ich konfrontacja, może zapewnić poprawne wnioskowanie i wypracowanie słusznych decyzji (komend).

W siłach zbrojnych większości państw dotychczasowa kontrola wojsk własnych oparta była generalnie na systemie okresowego składania meldunków bojowych. Uważa się jednak, że system ten jest zbyt statyczny i mało precyzyjny. W związku z tym, w krajach przodujących technologicznie, przewiduje się budowę zautomatyzowanych systemów kontroli, które bez udziału człowieka dostarczać będą precyzyjnych danych dowódcom i sztabom, łącznie z wizualnym zobrazowaniem sytuacji bojowej na monitorach.

W odniesieniu do systemów łączności uważa się, że podstawowym warunkiem sprawnego funkcjonowania systemu dowodzenia, jest niezawodna łączność. Zdaniem specjalistów wojskowych warunek ten zostanie spełniony po wprowadzeniu do uzbrojenia wojsk sprzętu łączności nowej generacji, który będzie

umożliwiał szybkie i łatwe nawiązywanie łączności, charakteryzował się będzie dużą odpornością na zakłócenia wspólnokanałowe i ze strony przeciwnika, zapewni tajność przekazywanych informacji oraz skrytość samego faktu emisji sygnałów, a także ekonomiczne wykorzystanie pasm częstotliwości.

Przeprowadzone badania wykazały, że wiele z tych założeń zostało już zrealizowanych, bądź jest w trakcie realizacji. Zastosowne rozwiązania, będące awangardą współczesnej myśli technicznej, wyznaczają prawdopodobne kierunki rozwoju systemów dowodzenia.

Dlatego też analiza tych systemów, skupiać się będzie wokół powyższych problemów. Prowadzona będzie z uwzględnieniem najistotniejszych cech mierzalnych wielowymiarowej przestrzeni radioelektronicznej jaką taki system tworzy i obejmie:

- infrastrukturę systemu;
- sytuację radioelektroniczną.

Infrastruktura będąca niejako szkieletem systemu dowodzenia odzwierciedla usytuowanie poszczególnych jego elementów w określonym obszarze, natomiast sytuacja radioelektroniczna jest odzwierciedleniem środowiska elektromagnetycznego tego obszaru. Dlatego też, oprócz infrastruktury systemu, analiza musi objąć wielkości mierzalne charakteryzujące to środowisko. Będą to:

- częstotliwość;
- natężenie pola elektromagnetycznego;
- rodzaje modulacji radiowych;
- czas.

Do wymienionych wielkości podstawowych mogą dojść inne zmienne, nie mniej istotne dla procesu rozpoznania i zakłóceń radiowych, takie choćby jak polaryzacja sygnałów, znaki i sygnały rozpoznawcze odbieranych stacji, czy dostępność do przesyłanej informacji.

Wynika z tego, że analiza dotyczy niezwykle skomplikowanych procesów przebiegających w przestrzeni wielowymiarowej, której osie współrzędnych odpowiadają wielu zmiennym.

1.1. INFRASTRUKTURA SYSTEMU DOWODZENIA

Dowodzenie we współczesnych armiach ma strukturę hierarchiczną tzn. każdy szczebel dowodzenia kieruje szczeblem niższym, a jednocześnie jest kierowany przez szczebel wyższy. Kierowanie wielkimi systemami dynamicznymi, a takim systemem są siły zbrojne, wymaga wymiany ogromnej ilości informacji. Tę wymianę w systemie dowodzenia zapewnia system łączności. Tak jak system dowodzenia organizowany jest w oparciu o stanowiska i punkty dowodzenia, tak system łączności organizowany jest w oparciu o węzły łączności, zwane dalej węzłami. Owe węzły wraz z relacjami połączeniowymi między nimi, tworzą sieć telekomunikacyjną systemu dowodzenia.

Kształt przestrzenny sieci wyznacza w zasadzie położenie węzłów poprzez ich współrzędne.

W relacjach połączeniowych występują zbiory kanałów jedno- lub różnorodnych, często dwukierunkowych. Tworzą one zazwyczaj, choć nie zawsze, niezorientowane drogi przepływu. Potocznie mówić tu można o relacjach o określonej długości i pojemności kanałowej.

Na ogół liczba i rodzaj kanałów nie zmienia się w dość długich odcinkach czasu. W węzłach występują procesy komutacyjne w postaci zachodzących stale zmian relacji połączeniowych. Mówimy wobec tego o tzw. sieci komutowanej, w której w każdej chwili zmieniają się drogi przepływu energii niosącej informacje. A więc sieć znajduje się w stałym "ruchu" - dlatego można mówić o drganiach czy pulsacji sieci; w każdej chwili energia może dochodzić do innego zbioru węzłów końcowych (abonentów); - w każdej chwili stan rozpływu energii może być inny.

Z "n" węzłów sieci wyróżnić można między innymi:

- układ relacji łączących (połączeń);
- układ kanałów jednorodnych realizowany w tych relacjach (kanały telefoniczne, telegraficzne, transmisji danych itd.);
- obciążenie tych kanałów, czyli wartość strumienia ruchu telekomunikacyjnego;
- charakterystykę podatności na zakłócenia, a więc określenie które z relacji (układu kanałów) są najbardziej podatne na zakłócenia;

- charakterystykę ilościową, czyli liczbę praktycznie możliwych tras dla przepływu strumienia informacji, trasy najkrótsze, najdłuższe, najczęściej wykorzystywane lub wybierane według innych kryteriów.

Do rozważań ogólnych nad powyższą problematyką wystarcza często model (graf) topologiczny, to znaczy zbiór węzłów i układ łączących je krawędzi.

Można sobie wyobrazić metodę, w której dla każdej chwili określa się aktualny stan tras po których przebiega proces transmisji sygnałów, czyli określoną strukturę aktywną transmisyjnie. Struktura aktywna jest pojęciem dynamicznym - doznaje ona pulsacji na tle struktury pasywnej (statycznej) utworzonej z węzłów i krawędzi (kanałów).

W literaturze przedmiotu spotkać można pojęcie "sieci pierwotnej", z której wyodrębniają się sieci "wtórne" i w oparciu o nie przewiduje się prawdopodobne organizowanie różnorodnych procesów przepływu informacji np. telefonicznej, telegraficznej, obrazowej itd.

Na podstawie dotychczasowego opisu można ustalić, że sieć telekomunikacyjna systemu dowodzenia, to twór złożony z przestrzennie rozmieszczonych urządzeń technicznych w konfiguracji sieciowej[1].

Do takiej sieci w wielu punktach jest doprowadzana i odprowadzana informacja oraz energia zasilająca. W sieci - ogólnie mówiąc, dokonuje się przekształcania form informacji przy wykorzystaniu zasilania energetycznego lub przetwarzania energii w informację.

Można tu również mówić o "zasilaniu intelektualnym", tzn. o ingerencji człowieka jako elementu korzystającego z systemu, elementu regulującego i sterowniczego.

Dotychczasowy opis był odpowiedzią na pytanie, jakim to rodzajem systemu technicznego jest sieć telekomunikacyjna. Dalszy będzie odpowiedzią z jakich elementów taki system się składa.

Z ogólnych rozważań o systemach wiadomo, że tworzą je pewne obiekty, własności tych obiektów, relacje, własności tych relacji itd.

---

[1] W literaturze przedmiotu wyróżnia się coraz rzadziej wykorzystywaną konfigurację osiową.

W naszym przypadku głównymi elementami (obiektami) systemu będą wspomniane węzły łączności.

Temat rozprawy obliguje do uwzględnienia szczebla operacyjnego oraz dwóch podległych szczebli taktycznych.

Na szczeblach operacyjnych i taktycznych wykorzystywane są stacjonarne i ruchome węzły łączności.

Stacjonarne węzły łączności garnizonowych stanowisk dowodzenia szczebla operacyjnego i taktycznego, rozmieszczone są w miejscowościach, w których funkcjonują dowództwa i sztaby tych jednostek. Owe węzły generalnie są wykorzystywane w okresie pokoju, chociaż niektóre materiały wykazują, że na ich bazie w niektórych armiach, organizowane są stacjonarne węzły stanowisk dowodzenia czasu wojennego.

Poza wymienionymi, w okresie pokoju rozwijane są również węzły stanowisk dowodzenia na okres ćwiczeń.

Organizacja i techniczne ukompletowanie tych ostatnich, pozwala na wykorzystanie ich jako polowych węzłów łączności czasu wojennego.

Znana w większości przypadków dyslokacja stacjonarnych węzłów łączności sprawia, że są one szczególnie narażone na zniszczenie czy obezwładnienie w wypadku wybuchu konfliktu zbrojnego. Dlatego też w okresie działań wojennych pełnić one będą drugorzędną rolę, a ich zadania przejmą ruchome węzły łączności.

Przeprowadzone badania wykazały, że na okres działań wojennych dla zachowania ciągłości i pewności dowodzenia na szczeblach operacyjnych i taktycznych będą rozwijane:

- węzły łączności głównych stanowisk dowodzenia;
- węzły łączności wysuniętych stanowisk dowodzenia;
- węzły łączności zapasowych stanowisk dowodzenia;
- węzły łączności logistycznych (tyłowych) stanowisk dowodzenia;
- węzły łączności jednostek wspierających;
- rejonowe węzły łączności.

Na szczeblu operacyjnym i taktycznym przewiduje się również wykorzystanie specjalnych samolotów bądź śmigłowców, jako powietrznych punktów dowodzenia wojsk lądowych.

Ich wyposażenie pozwala na zestawienie łączy z każdym stacjonarnym i ruchomym węzłem lub innym powietrznym punktem dowodzenia.

Analiza ilościowo-przestrzenna wykazuje, że w obszarze działań bojowych związku operacyjnego o szerokości od 40-80 kilometrów, głębokości do 120 kilometrów i wysokości do 3 kilometrów może się znajdować:

- do trzech węzłów łączności stanowiska dowodzenia związku operacyjnego oraz węzeł powietrznego punktu dowodzenia;
- do trzech węzłów łączności jednostek wspierających związek operacyjny (artyleria, grupy obrony powietrznej);
- sześć-dziewięć węzłów łączności stanowisk dowodzenia związku taktycznego;
- do trzech węzłów łączności stanowisk dowodzenia artylerii związku taktycznego;
- dwa-trzy węzły powietrznych punktów dowodzenia szczebla taktycznego;
- sześć-dziewięć węzłów łączności stanowisk dowodzenia niższego związku taktycznego;
- od dwunastu do dziewięćdziesięciu rejonowych węzłów łączności.

Tak więc w hipotetycznym pasie działań bojowych związku operacyjnego może funkcjonować od 24 do 31 zasadniczych węzłów łączności oraz od 12 do 90 węzłów rejonowych.

Rozmieszczenie przestrzenne tych węzłów uzależnione jest od norm operacyjno-taktycznych obowiązujących w danej armii oraz ukształtowania terenu. Owe normy operacyjno-taktyczne są wynikiem kompromisu pomiędzy zapewnieniem optymalnych warunków dowodzenia podległymi wojskami i bezpieczeństwem elementów systemu, a fizycznymi możliwościami eksploatowanych w danym systemie środków łączności.

Po uśrednieniu norm operacyjno-taktycznych obowiązujących w armiach europejskich, współrzędne przestrzenne opisujące położenie węzłów w przestrzeni operacyjnej mogą przyjmować wartości:

- x - od 0 do 80 km;
- y - od 0 do 120 km;
- z - od 0 do 3 km.

Dokonując adaptacji przestrzeni operacyjnej do modułu walki radioelektronicznej[1] , dalej zwanego modułem, wymiary tej przestrzeni ulegną nieznacznej modyfikacji w stosunku do normatywnej. Owa modyfikacja, nie ma większego wpływu na istotę analizy. Po adaptacji współrzędne będą przyjmować wartości:

- x - od 0 do 100 km;
- y - od 0 do 100 km;
- z - od 0 do 10 km.

Zmodyfikowana przestrzeń operacyjna, w trójwymiarowym układzie współrzędnych, tworzyć będzie prostopadłościan o wierzchołkach: A(0, 0, 10); B(0, 100, 10); C(0, 100, 0); D(0, 0, 0); E(100, 0, 10); F(100, 100, 10); G(100, 100, 0); H(100, 0, 0).

Procesy i zjawiska zachodzące w tej przestrzeni, mogą stanowić bardzo uproszczony model symulacyjny systemów rzeczywistych.

Pojęcie symulacji, zawężone do pewnej grupy interesujących nas zjawisk, może być definiowane jako "imitacja zachowania systemów istniejących w świecie rzeczywistym w funkcji czasu".

W prowadzonych rozważaniach przykładami systemów rzeczywistych mogą być: zespoły sił i środków, węzły telekomunikacyjne, urządzenia rozpoznania i zakłóceń radioelektronicznych, ale również zakładany czy prawdopodobny sposób dowodzenia i kierowania, sposób zachowania się sił i środków w określonych sytuacjach, plan procesu rozpoznania i zakłóceń radioelektronicznych.

Jednym z typowych obszarów, gdzie symulacja jest na dobre usadowiona i gdzie stanowi nieodłączny element wykonywanych prac, jest funkcjonowanie sił zbrojnych, a w nich:

- strategie wojenne;
- systemy obrony (m.in. SDI[2]);
- systemy radarowe i komunikacyjne;
- systemy rakietowe (balistyczne);

---

[1] Zespół pod kierownictwem Waldemara BRZOSTKA, "Moduł walki radioelektronicznej" w "Modelu operacji wojsk lądowych". AON Warszawa 1990 r.

[2] SDI - Strategic Defense Initiative - inicjatywa obrony strategicznej.

- sprawdzanie niezawodności sprzętu;
- projektowanie nowych systemów i urządzeń;
- treningi załóg i obsług (okrętów, samolotów, wozów bojowych);
- planowanie powoływania rezerw osobowych;
- magazynowanie i rozdział sprzętu;
- planowanie zaopatrzenia i remontów.

Przytoczone powyżej przykłady pokazują niewielki segment jednego z obszarów, gdzie metody symulacyjne są czy mogłyby być zastosowane.

Wracając do metod symulacyjnych, możemy wyodrębnić dwa sposoby symulowania:

1) Symulacja przestrzennych zachowań badanych systemów.

2) Symulacja logicznych i przyczynowych związków pomiędzy elementami badanych systemów.

Do pierwszej grupy należą przypadki, w których przede wszystkim chodzi o zbadanie zachowań określonych systemów (w tym przypadku systemów dowodzenia) w określonym stanie.

Oczekiwanym efektem symulacji może być ustalenie, czy w rzeczywistym systemie dowodzenia, określony element znajdzie się w określonym stanie (pozycji czy położeniu) oraz jaki skutek na zachowanie całego systemu będzie miało przemieszczanie jego części.

Do drugiej grupy należą eksperymenty mające na celu sprawdzenie, jaki wpływ na stan czy zachowanie badanego systemu, będzie miało określone wydarzenie. Dla przykładu: jakie skutki na pracę systemu wywoła wyeliminowanie jednego czy kilku jego elementów.

W tym przypadku nie interesują nas kształty i wymiary systemu czy położenie ich elementów (w pewnych granicach oczywiście), przede wszystkim ważne jest logiczne i przyczynowe połączenie wydarzeń zachodzących w systemie.

Do opisu tych metod symulacyjnych używane są dwa rodzaje języków symulacyjnych.

Są to:

1. Języki symulacyjne do procesów ciągłych.
2. Języki symulacyjne do procesów dyskretnych.

Do grupy procesów ciągłych zaliczamy takie, opisu których możemy dokonać za pomocą równań matematycznych (różniczkowo-całkowych) bądź przedstawić za pomocą schematów blokowych składających się z elementów funkcjonalnych wzajemnie połączonych. Umożliwiają one modelowanie procesów liniowych opisanych równaniami różniczkowymi zwyczajnymi o współczynnikach stałych lub zależnych od czasu.

Symulacja procesów ciągłych, ze względu na znaczne trudności w opisie matematycznym zjawisk zachodzących w sieciach telekomunikacyjnych, spełnia rolę drugorzędną - w odróżnieniu od symulacji procesów dyskretnych.

2. Procesy dyskretne są definiowane przez ciąg wydarzeń zachodzących w nich w określonych przedziałach (punktach) czasu, w pewnym sensie skokowo. Nie interesuje nas, co wydarza się między tymi przedziałami (punktami), lecz skupiamy uwagę na tym, kiedy pewne wydarzenie miało miejsce i jakie ma to konsekwencje dla dalszego przebiegu badanego procesu.

Dla języków służących symulacji procesów dyskretnych wyodrębnić można trzy procedury:

- procedura czasu;
- procedura rozpoznania;
- procedura realizacji zdarzeń.

Zadaniem procedury czasu jest symulowanie atrybutu zwanego "czasem systemowym", przy czym atrybut ten przyjmuje wartości określone przez kolejne zdarzenia.

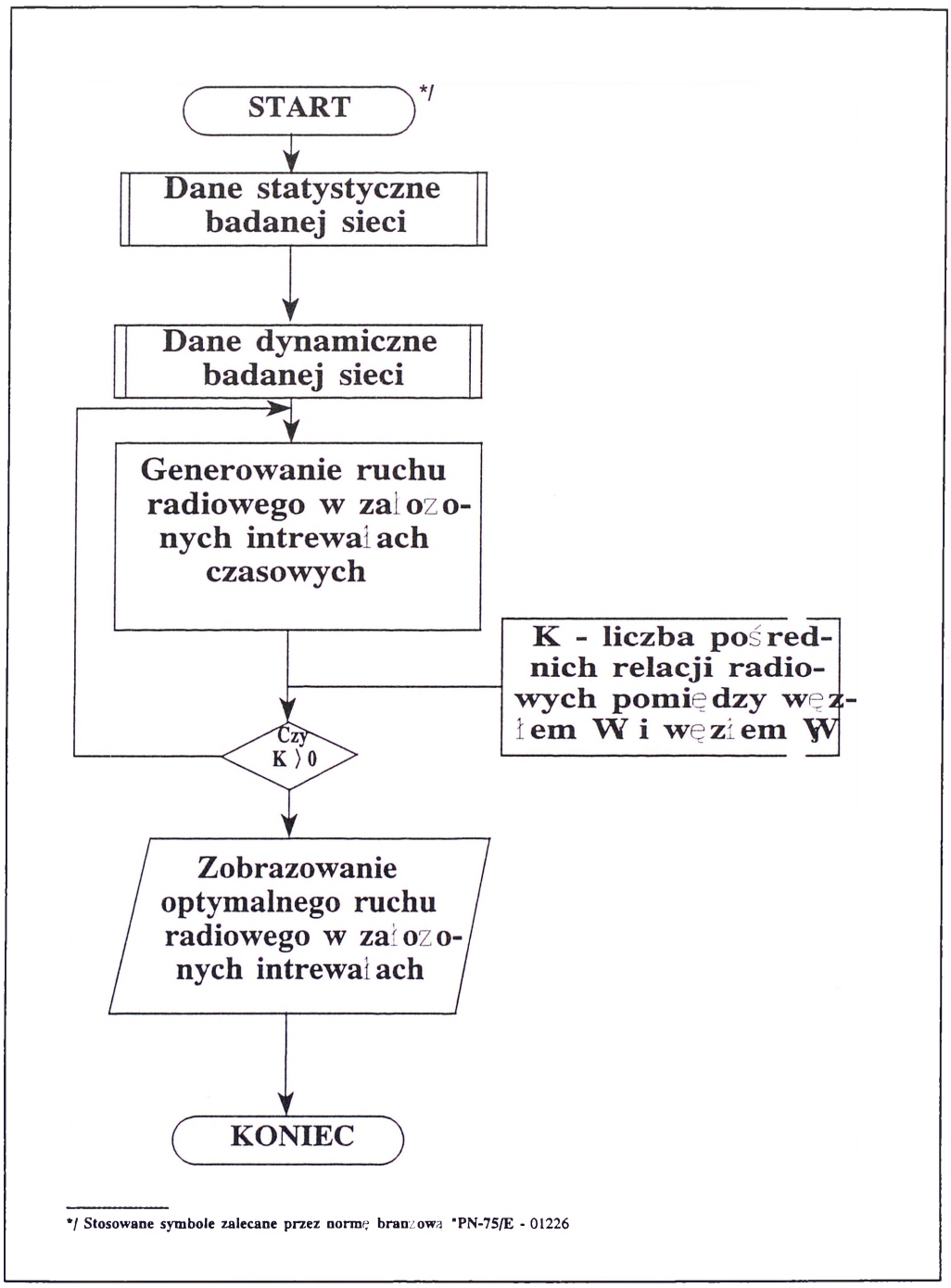
Procedura rozpoznania określa typ zdarzenia i powoduje wywołanie odpowiedniego modułu wykonawczego.

Procedura realizacji zdarzeń inicjuje wykonanie procedury realizującej funkcje zdarzenia, a następnie odwołuje się do programu sterującego.

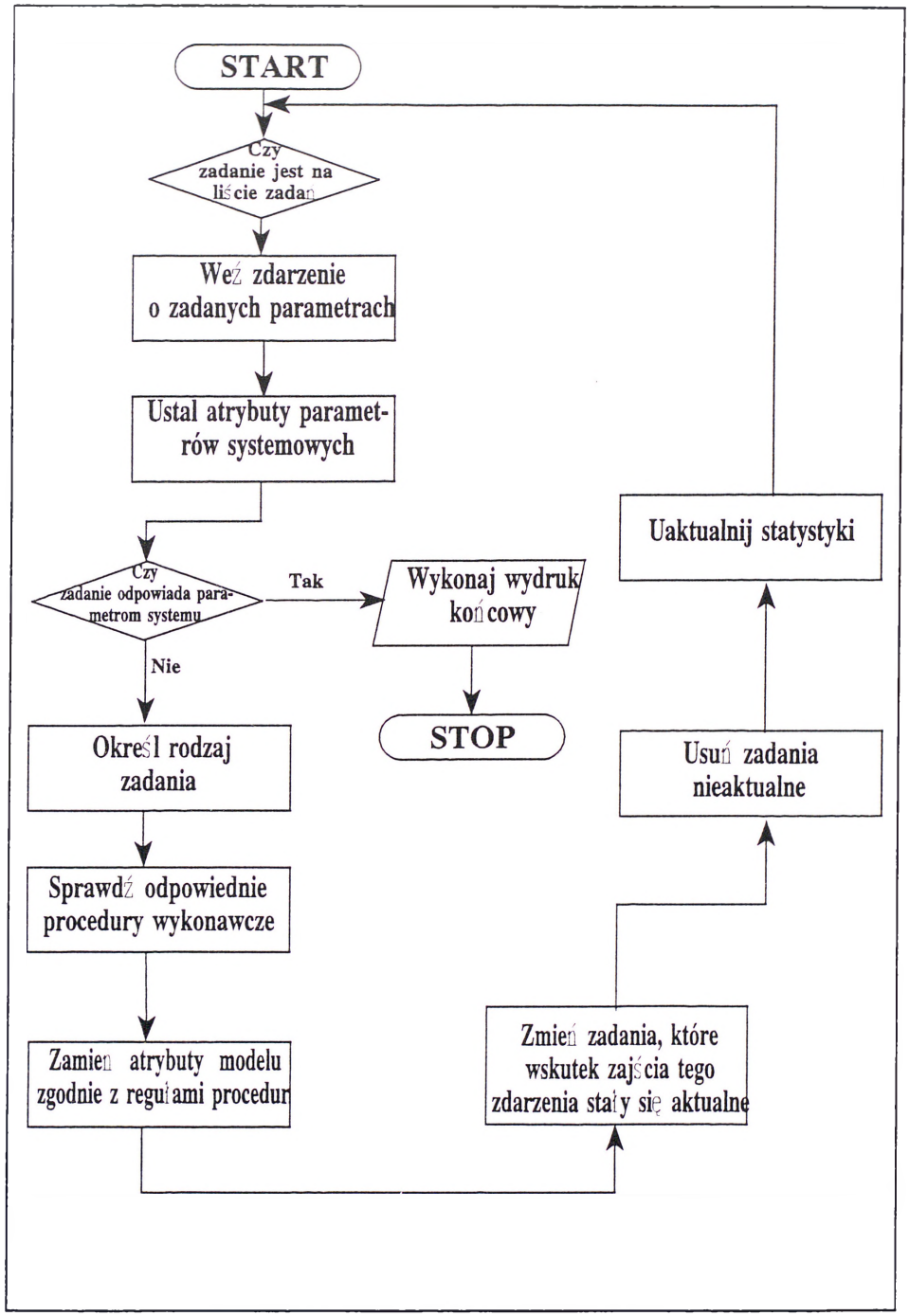
Przykładowy schemat blokowy algorytmu sieci telekomunikacyjnej nazwanej "SIECIĄ" ilustruje rysunek. Za pomocą tego programu można wygenerować sieć składającą się z "n" elementów oraz wyznaczyć rozkłady łączy dla różnych wartości ruchu (rys. 1.2.).

Innym przykładem może być uproszczony schemat blokowy procedur symulacyjnych (rys 1.3.).

Nawiązując w tych ogólnych rozważaniach do modułu walki radioelektronicznej, metoda symulacyjna procesów ciągłych wykorzystywana jest w modelowaniu przest-



Rys. 1.2. Schemat blokowy programu "SIEĆ".



Rys. 1.3. Uproszczony schemat blokowy procedur symulacyjnych.

rzeni operacyjnej. Symulacja procesów dyskretnych wykorzystywana jest w procedurze czasu, procedurze rozpoznania i zakłóceń radiowych oraz w procedurze realizacji innych zdarzeń zachodzących w tej przestrzeni.

Uzasadniając potrzebę uwzględnienia trzeciego wymiaru przestrzeni operacyjnej w module, wynika ona z zależności zasięgów zdecydowanej ilości środków radiowych i radioliniowych[1], od wysokości na jakich się one, a ściślej ich anteny znajdują. Zależność tę ilustruje tabela 1.1.

Tabela 1.1

Zależność horyzontu radiowego środków UKF od wyniesienia anten tych środków.

h_1[m]	4	4	4	4	4	4	10	25	50	100
h_2[m]	5	10	25	50	100	4	10	25	50	100
Zasięg [km]	~17	~22	~29	~37	~50	~16,5	~27,5	~41	~58	~82

Z powyższego zestawienia wynika, że wyniesienie anten środków łączności zakresu UKF mierzone w metrach, powoduje wzrost ich zasięgu w kilometrach. Ów wzrost zasięgu jest ściśle związany z dostępnością energetyczną, co jest podstawowym warunkiem prowadzenia skutecznego rozpoznania i zakłóceń radiowych.

Zestawienie to uzmysławia nam również, jak istotne jest wyniesienie anten własnych środków WRE.

Prowadzona analiza byłaby niepełna, gdyby nie uwzględnić w niej technicznego wyposażenia węzłów łączności. Wyposażenie poszczególnych węzłów uzależnione jest od rodzaju systemu oraz szczebla dowodzenia.

---

[1] Zasięg horyzontu radiowego R środków UKF wynosi $R = 4{,}12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$

gdzie: R - zasięg w kilometrach
4.12 - współczynnik dla UKF;
h_1, h_2 - wyniesienie anten w metrach.

Z dostępnych materiałów źródłowych wynika, że najbardziej rozbudowane pod tym względem, są węzły łączności głównych stanowisk dowodzenia szczebla operacyjnego nowoczesnych systemów dowodzenia. W skład takich węzłów mogą wchodzić następujące elementy:

- grupa radiostacji KF i UKF;
- grupa radiolinii horyzontalnych i troposferycznych[1] oraz modemów satalitarnych;
- linie łączności przewodowej;
- centrum dystrybucji informacji;
- centrum nawigacyjno-pozycyjne;
- centrum komutacyjno-zwielokratniające;
- centrale telefoniczne i telegraficzne;
- centrum dowodzenia łączności.

Węzły łączności tego szczebla starszych systemów, pozbawione są elementów systemu dystrybucji informacji i nawigacyjno-pozycyjnego. Ponadto, w znacznie mniejszym stopniu są one wyposażone w elementy automatyzacji procesu dowodzenia i kierowania.

Wyposażenie węzłów łączności niższych szczebli dowodzenia jest bardzo zróżnicowane. Generalnie jednak dąży się do tego, aby węzły podległych szczebli mogły przejmować obowiązki szczebla nadrzędnego i to zarówno w nowoczesnych systemach dowodzenia jak i w systemach starszego typu. Należy się więc liczyć z ich unifikacją.

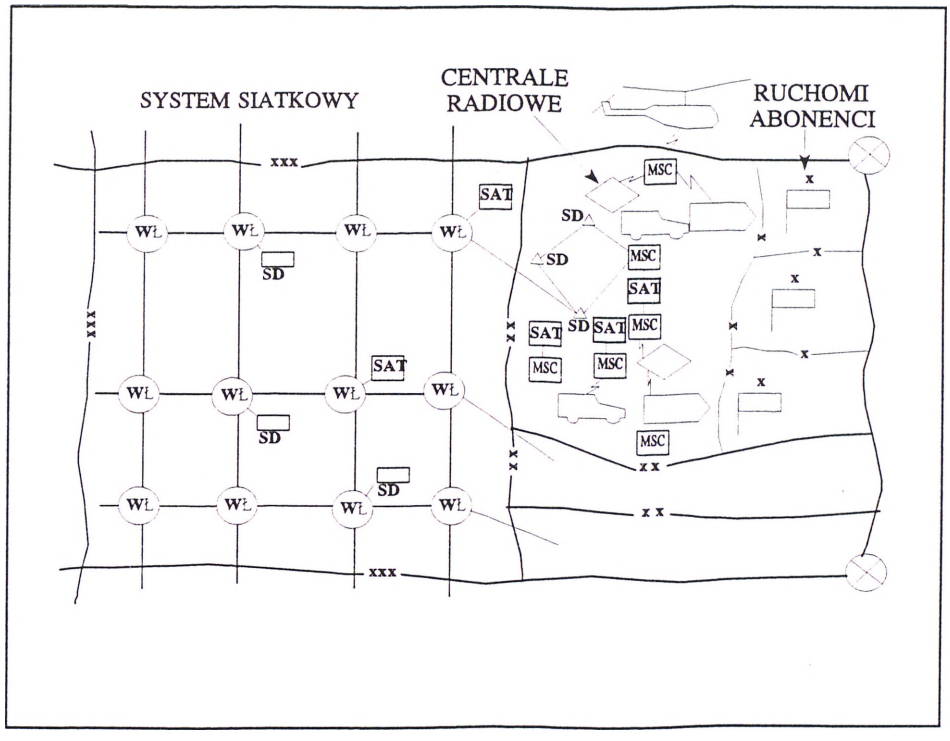
W analizie ilościowo-przestrzennej oprócz węzłów stanowisk dowodzenia, zostały wykazane rejonowe węzły łączności.

Węzły rejonowe rozwijane w przestrzeni operacyjnej, tworzą siatkowy system łączności pokrywający swym zasięgiem ową przestrzeń. Ich rozmieszczenie podporządkowane jest zasadzie utworzenia w danym rejonie sieci na tyle regularnej, na ile pozwalają na to warunki terenowe. Nie uwzględnia się natomiast przy ich rozwijaniu rozmieszczenia poszczególnych stanowisk dowodzenia (Rys. 1.4.).

---

[1] Często w literaturze przedmiotu spotkać można określenia: radiolinie horyzontowe, radiolinie pozahoryzontowe.

Stanowiska dowodzenia dowiązywane są do najbliżej rozwiniętego węzła sieci rejonowej, przy pomocy wielokanałowych radiolinii lub łączy przewodowych. Abonenci ruchomi, szczególnie w strefie przyfrontowej ale również w głębi ugrupowania, mogą korzystać z sieci poprzez centrale radiowe włączając się do nich odpowiednimi radiostacjami.



Rys. 1.4. System rejonowych węzłów łączności.

Wyposażenie rejonowych węzłów łączności, pozwala więc na zaspokojenie potrzeb wymiany informacji zarówno abonentów stacjonarnych znajdujących się na stanowiskach dowodzenia jak i abonentów ruchomych.

W składzie tego wyposażenia można wyróżnić:

- grupę stacji radioliniowych troposferycznych oraz modemów satelitarnych;
- grupę radiolinii horyzontalnych;
- centrale radiowe;
- centrale telefoniczne i telegraficzne;
- centrale komutacyjno-zwielokratniające;

- aparatownie kontroli i zarządzania siecią.

Wielokanałowe radiolinie troposferyczne i/lub modemy satelitarne zapewniają łączność dalekosiężną systemu i pozwalają na wyeliminowanie polowych kabli dalekosiężnych.

Szerokopasmowe radiolinie horyzontalne są przeznaczone do tworzenia wielokanałowych łączy międzywęzłowych, między węzłami a grupą radiolinii dalekosiężnych, do połączenia węzła ze stanowiskami dowodzenia oraz w niektórych systemach wewnątrz węzła do zastąpienia kabli wieloparowych. Wykorzystanie radiolinii bliskiego zasięgu jest więc najbardziej wszechstronne.

Modemy satelitarne zapewniają łącza wielokanałowe o praktycznie nieograniczonym zasięgu. Mogą być wykorzystywane jako typowe, międzywęzłowe łącza dalekosiężne lub łącza indywidualne z oddalonymi abonentami.

Centrale radiowe będące elementami systemu radiotelefonicznego, umożliwiają korzystanie z całego systemu łączności, zarówno pojedynczym abonentom ruchomym jak i całym jednostkom operacyjnym będącym w strefie przyfrontowej.

Przeznaczenie pozostałych elementów węzła (centrale telefoniczne, aparatownie) jest oczywiste i nie wymaga dodatkowych wyjaśnień.

W odróżnieniu od dotychczas prezentowanych, w niezautomatyzowanych systemach dowodzenia, na szczeblu operacyjnym i taktycznym nadal szeroko wykorzystywane są tradycyjne krótkofalowe i ultrakrótkofalowe sieci łączności radiowej, wspomagane kierunkami radioliniowymi.

Do łączności z podwładnymi (związki taktyczne i oddziały bezpośredniego podporządkowania) organizuje się kilkadziesiąt sieci radiowych.

Z sieci tych wyróżnić można:

- sieć radiową dowodzenia - zapewniającą łączność dowódcy związku operacyjnego i jego sztabowi z dowódcami podległych związków taktycznych, przeznaczoną do przekazywania rozkazów bojowych, zarządzeń i meldunków. Radiostacje tej sieci rozmieszczone są na węzłach GSD, ZSD i WSD związku operacyjnego oraz podległych związków taktycznych;

- sieć radiową sztabu związku operacyjnego - do łączności oficerów sztabu, ze sztabami podległych jednostek;

- sieć radiową dowodzenia - do łączności sztabu związku operacyjnego z przydzielonymi oddziałami wzmocnienia. W składzie tej sieci są radiostacje węzłów łączności GSD, ZSD związku operacyjnego, dowództwa artylerii, brygady saperów, grupy artylerii przeciwlotniczej;

- dwie sieci radiowe rozpoznania (dalekopisowa i foniczna) do przekazywania danych z rozpoznania na GSD i ZSD związku operacyjnego od elementów rozpoznawczych, lotnictwa rozpoznawczego, artylerii i oficerów rozpoznawczych podległych związków taktycznych;

- sieć radiową tyłów związku operacyjnego w składzie TSD ZO i TSD związków taktycznych.

Oprócz tego może być rozwijana sieć radiowa związku operacyjnego do przekazywania zapotrzebowania na wsparcie lotnicze. W skład takiej sieci wchodzą radiostacje rozmieszczone na węzłach łączności GSD związku operacyjnego, podległych związków taktycznych, szczebla nadrzędnego oraz lotnictwa taktycznego wojsk lądowych.

Jak wykazały przeprowadzone badania materiałów źródłowych, w systemach dowodzenia Rosji, Ukrainy, Niemiec, nie tworzy się oddzielnych sieci powiadamiania i wywołania lotnictwa taktycznego. Zapotrzebowanie na wsparcie lotnicze przekazywane jest przez wyszczególnioną wyżej sieć radiową dowodzenia, a wywołanie lotnictwa taktycznego dokonuje się za pośrednictwem sieci radiowych sił powietrznych.

Dość znacznie rozbudowaną sieć radiową organizuje sztab artylerii związku operacyjnego. Wyszczególniając będą to:

- sieć radiowa dowodzenia i kierowania ogniem, która zapewnia łączność pomiędzy sztabem artylerii i ośrodkiem kierowania ogniem, a sztabami grup artylerii polowej, dywizjonami pocisków kierowanych oraz dywizjonem artyleryjskiego rozpoznania pomiarowego;

- sieć radiowa kierowania ogniem, do łączności sztabu artylerii związku operacyjnego ze sztabami artylerii związków taktycznych. Służy do koordynacji ognia, a zwłaszcza do składania zapotrzebowania na dodatkowe wsparcie ogniowe;

- sieć radiowa do przekazywania komunikatów meteorologicznych z dywizjonu artyleryjskiego rozpoznania pomiarowego, do wszystkich oddziałów i pododdziałów artylerii;

- sieć radiowa UKF do łączności między elementami sztabu artylerii związku operacyjnego i podległymi oddziałami a elementami korygującymi ogień (obserwatorzy, śmigłowce).

Grupy artylerii polowej do łączności z podległymi dywizjonami rozwijają zazwyczaj po dwie sieci radiowe: krótkofalową i ultrakrótkofalową.

Dla potrzeb współdziałania z sąsiednimi związkami operacyjnymi, organizuje się kierunki radiowe pomiędzy głównymi stanowiskami dowodzenia tych związków.

Spośród wymienionych sieci i kierunków radiowych organizowanych w związku operacyjnym, część z nich przeznaczona jest do przekazywania informacji tekstowych.

Wynika z tego, że w dowodzeniu związkiem operacyjnym, krótkofalowa łączność dalekopisowa na duże odległości, stwarzająca możliwość gromadzenia przekazywanych dokumentów, nadal spełnia ważną rolę w systemach łaczności starszych typów oraz w nowoczesnych systemach jako łączność zapasowa.

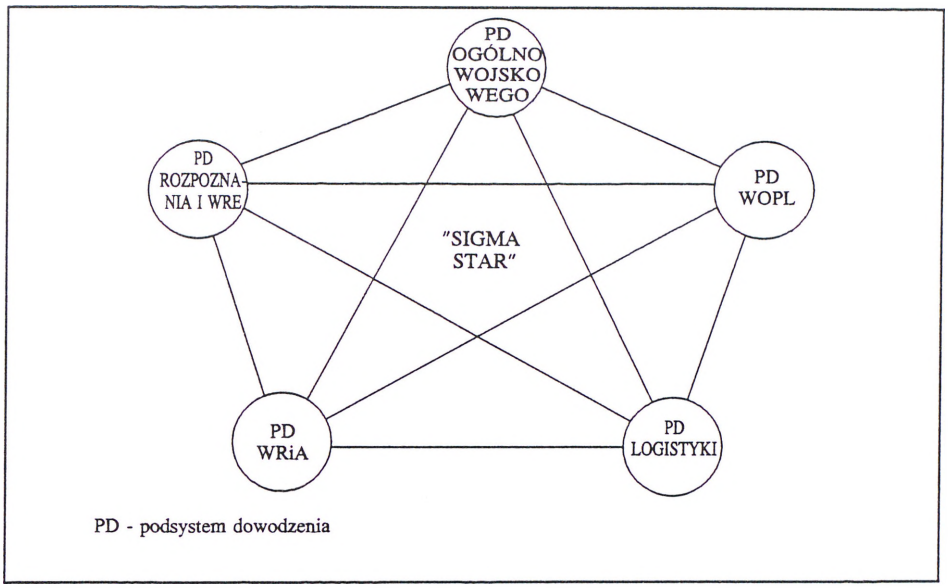
Na zakończenie analizy infrastruktury przestrzennej systemu dowodzenia, aspekt perspektywiczny tego problemu.

Przeprowadzone badania dostępnych materiałów[1] oraz analiza opracowań odbytych ćwiczeń wykazały, że w armiach czołowych państw europejskich, planuje się dokonanie istotnych zmian w infrastrukturze systemów dowodzenia.

W dotychczasowych rozwiązaniach, w celu zapewnienia ciągłości dowodzenia dublowano stanowiska dowodzenia (WSD, SD, ZSD) i w takim ujęciu prowadzona była analiza. Perspektywicznie planuje się znaczne rozproszenie i ruchliwość elementów stanowisk dowodzenia (przy integracji systemu jako całości) co zwiększy bezpieczeństwo oraz znacznie utrudni ich rozpoznanie, pozwoli również uniknąć ich powielania. Przykład takiego rozproszonego stanowiska dowodzenia ilustruje rysunek 1.5.

---

[1] Komunikaty miesięczne Zarządu II Sztabu Generalnego: PF 4/BSA/92 str. 34; - PF 108/BJA/92 str. 38; PF 189/BSA/92 str. 53., Ćwiczenia: 28-31.05.91 pod kryptonimem "SCHELTER BLIT-91". 04-07.06.91 pod kryptonimem "HASSEN SCHIELD-91".



Rys. 1.5. Schemat rozproszonego stanowiska dowodzenia.

Oprócz zmian infrasturktury stanowisk dowodzenia, przewartościowaniu ulegną również sposoby organizowania łączności radiowej. Wraz z wycofaniem z wyposażenia wojsk środków radiowych starszej generacji i wprowadzeniu na ich miejsce nowych, prawdopodobnie znikną sieci radiowe w tradycyjnym tego słowa znaczeniu.

W typowych sieciach taktycznych eksploatowanych od kilku lat w wojskach NATO (amerykański Tri-Tac, brytyjski Ptarmigan,francuska RITA, niemiecki AUTOKO), środki łączności radiowej służą użytkownikom jako urządzenia końcowe. Tworzone za ich pomocą kierunki radiowe, to relacje łączności pomiędzy użytkownikiem i jedną z central systemu. Owe centrale realizują dalsze połączenia z innymi dowolnie wybranymi abonentami systemu, eliminując potrzebę organizowania sieci radiowych.

Owe tezy zostały w całej rozciągłości potwierdzone na konferencji naukowej poświęconej nowoczesnym systemom dowodzenia[1].

[1] Konferencja naukowa pod patronatem Komendanta AON nt.: "Dowodzenie z komputerem". 09.06.1992 r. AON.

1.2. SYTUACJA RADIOWA

W założeniach tego rozdziału przyjęto, że drugim zasadniczym członem prowadzonej analizy będzie sytuacja radiowa jaką tworzą systemy dowodzenia. Przyjęto również, że ta część analizy dotycząca niezwykle skomplikowanych procesów przebiegających w przestrzeni wielowymiarowej obejmie:

- częstotliwość;
- natężenie pola elektromagnetycznego;
- klasyfikację modulacji radiowych;
- czas.

Falami radiowymi przyjęto nazywać wycinek widma elektromagnetycznego w zakresie od 100 tys. metrów do 0,1 milimetra, co odpowiada stosując znaną zależność między długością fali a częstotliwością[1]:

$$f = \frac{3 * 10^8}{\lambda}$$

przedziałowi częstotliwości od 3000 Hz do $3 * 10^{12}$ Hz.

Przedział ten obejmuje zakresy od fal bardzo długich zwanych myriametrowymi, poprzez fale długie - kilometrowe, średnie - hektometrowe, krótkie - dekametrowe, ultrakrótkie - metrowe, centymetrowe, na submilimetrowym zakresie mikrofal kończąc. Widmo fal elektromagnetycznych ilustruje rys. 1.6. Dla większych częstotliwości w pracy będą stosowane ogólnie przyjęte skrótowe nazwy jednostek, a mianowicie:

- kHz (kiloherc) = 10^3 Hz;
- MHz (megaherc) = 10^6 Hz;
- GHz (gigaherc) = 10^9 Hz;
- THz (teraherc) = 10^{12} Hz.

Jakkolwiek systemom dowodzenia poszczególnych szczebli, wykorzystującym urządzenia łączności różnych zakresów częstotliwości radiowych trudno jest zakresy

---

[1] W pracy przyjęto obowiązujący układ jednostek SI. Jeżeli więc we wzorze nie jest podana jednostka, oznacza to, że obowiązuje układ SI, jak na przykład w przytoczonym wzorze dla λ - metr.

tego widma przyporządkować, to z małą wagą argumentu, takiego podziału można dokonać. I tak:

- radiostacje szczebla strategicznego: 35-100 Hz[1]; 14-24 kHz; 30-150 kHz; 1,5-30 MHz;
- radiostacje szczebla operacyjnego: 30-300 kHz; 1,5-30 MHz;
- radiostacje szczebla taktycznego: 1,5-88 MHz; 100-174 MHz; 220-400 MHz;
- radiolinie horyzontalne: 220-1850 MHz; 4,4-5,0 GHz; 7,0-8,5 GHz;
- radiolinie troposferyczne: 300-500 MHz; 700-1000 MHz; 4,4-5,0 GHz; 7,0-8,5GHz; 10,0-15,5 GHz;
- urządzenia łączności satelitarnej: 225-400 MHz; 7,2-8,4 GHz; 16-40 GHz.

Zakres najniższych częstotliwości wykorzystywany jest przez szczebel strategiczny do zapewnienia jednostronnej łączności (centrum nadawcze - okręt) z okrętami podwodnymi będącymi w zanurzeniu[2].

Zakresy fal długich i średnich wykorzystywane są również przez szczebel strategiczny do rozgłaszania radiowego.

Zakres fal krótkich wykorzystywany jest w zasadzie przez wszystkie szczeble dowodzenia, głównie jednak przez szczebel strategiczny i operacyjny do łączności zapasowej.

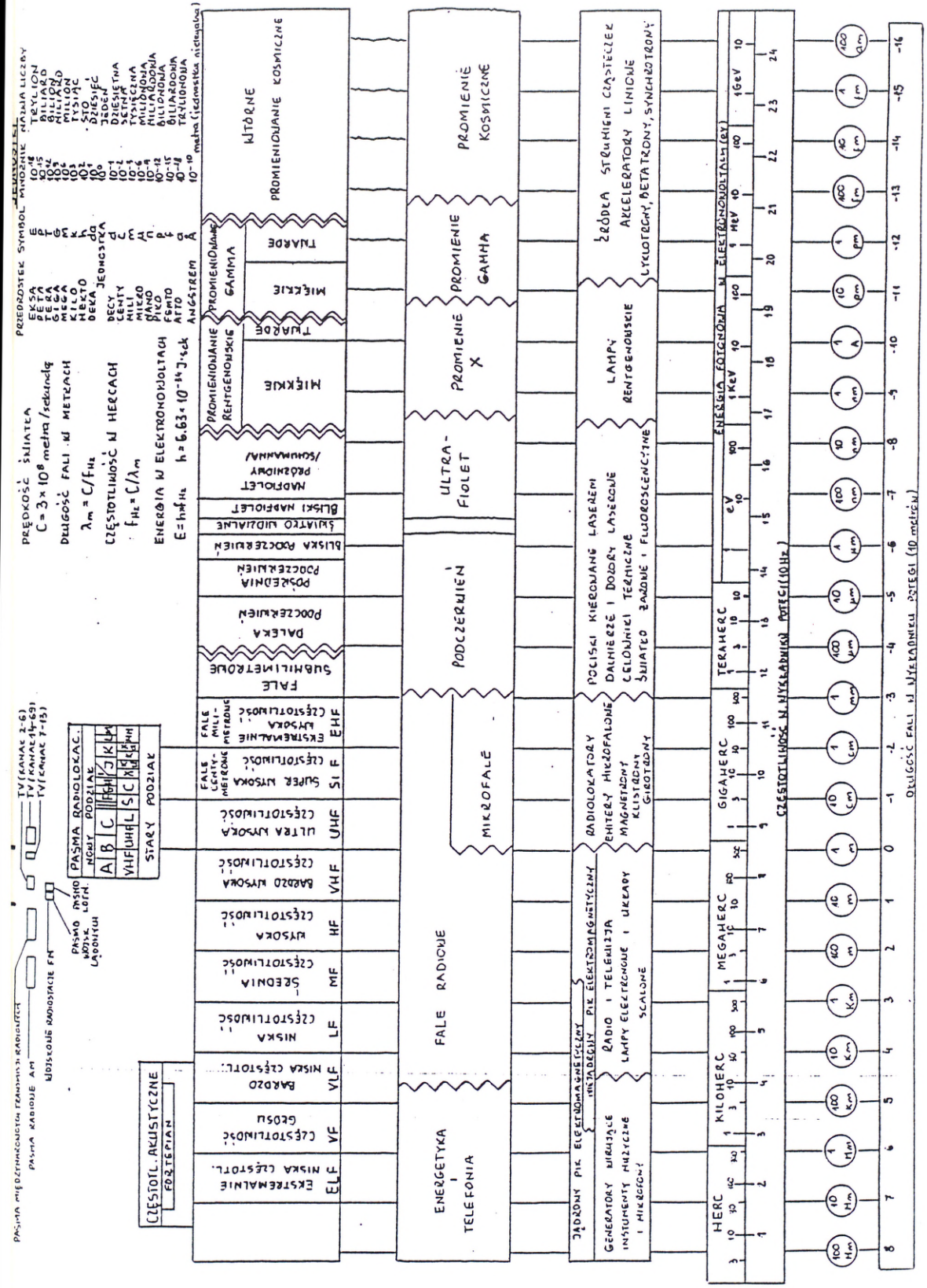
Zakres ultrakrótkofalowy wykorzystywany jest w systemach dowodzenia szczebla operacyjno-taktycznego wojsk lądowych, systemach dowodzenia lotnictwem taktycznym oraz przez wszystkie szczeble korzystające z łączności radioliniowej i satelitarnej.

Wyższe zakresy częstotliwości, od promieniowania mikrofalowego poczynając, są wykorzystywane w technice wojskowej, jednak przyporządkowanie ich poszczególnym szczeblom dowodzenia, jest jeszcze bardziej kłopotliwe niż omówiony wyżej podział.

---

[1] Rosja i Stany Zjednoczone dysponują urządzeniami łączności wykorzystującymi zakres kilkudziesięciu herców.

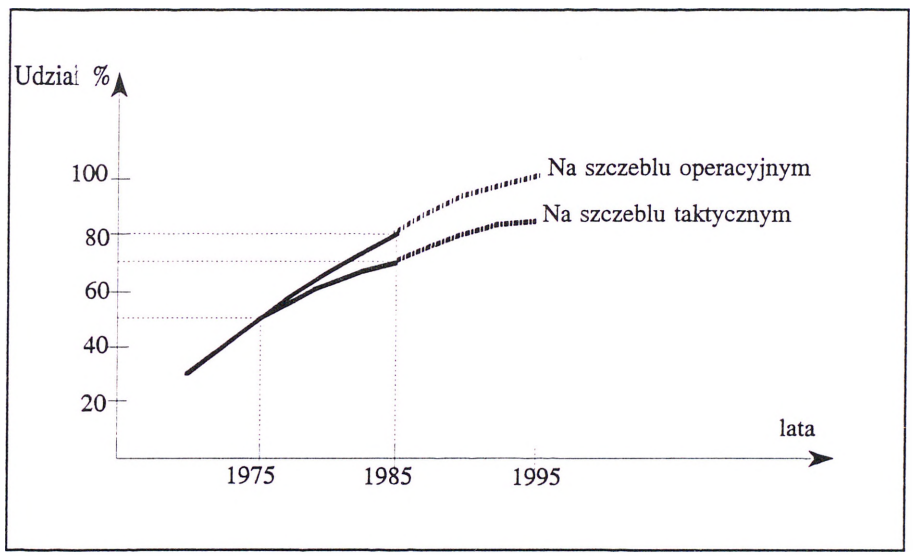
[2] W Clam Lake (Wisconsin) oraz rejonach Sewastopola i Kaliningradu pracują centra nadawcze wykorzystujące zakres od 35-100 Hz. Zakres ten umożliwia łączność z okrętami podwodnymi będącymi w zanurzeniu na głębokości poniżej 100 m.



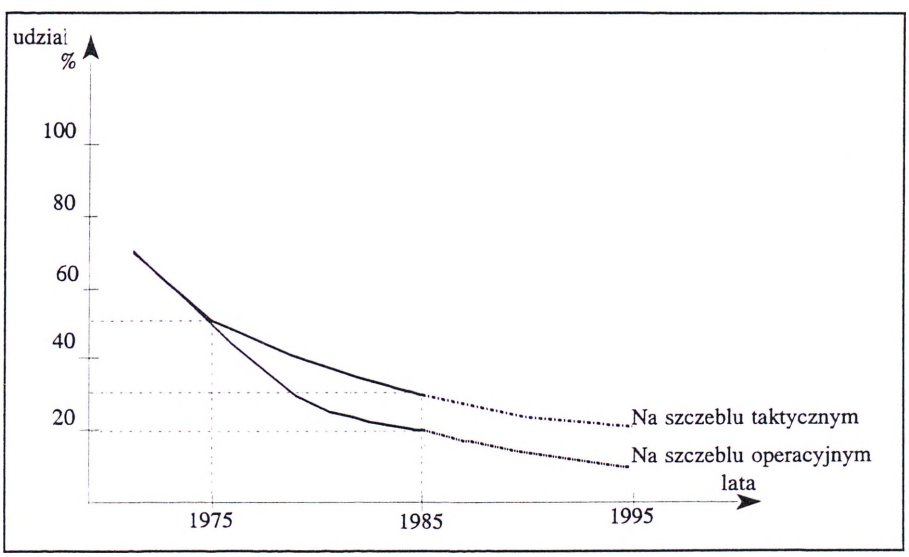
Rys. 1.6. Widmo fal elektromagnetycznych.

Przeprowadzone badania wykazały również stałą tendencję do wykorzystywania w urządzeniach łączności coraz wyższych zakresów częstotliwości radiowych. Owa tendencja, wiąże się ze wzrostem nasycenia wojsk środkami radiowymi, a to z kolei, z zapotrzebowaniem na nowe, niezakłócone i niezajęte pasma częstotliwości radiowych. Potwierdzeniem owych tendencji niech będzie stopień ich wykorzystania. Badania procentowego udziału poszczególnych rodzajów łączności w ćwiczeniach NATO prowadzonych na przełomie dekady 1975-1985 ilustrują wykresy przedstawione na rysunku 1.7.

a)



b)



Rys. 1.7. Procentowy udział w wojskowych systemach radiokomunikacyjnych: a) łączności radioliniowej i satelitarnej; b) łączności radiowej.

Przechodzenie w wyższe pasma częstotliwości umożliwiają technologie związane z praktycznym wykorzystaniem półprzewodników na bazie arsenku galu, charakteryzujących się bardzo małym współczynnikiem szumów, nawet w pasmach fal centymetrowych i milimetrowych[1].

Nawiązując do koncepcji przestrzeni wielowymiarowej przyjętej w prowadzonej analizie, częstotliwość - przypomnijmy - jest jedną z podstawowych wielkości zmiennych tej przestrzeni. Pamiętać należy, że owe zmienne podstawowe przestrzeni, są wyznaczane w sposób "ziarnisty". Wielkość "ziarna" wynika z precyzji zastosowanych metod pomiarowych, odbiorników, mierników i wzorców oraz ziarnistej ich struktury, jeśli oparte są one na technice cyfrowej. Na przykład istotną informację zawierają tylko te punkty charakterystyk częstotliwościowych, które są od siebie odległe o szerokość pasma przenoszonego przez zastosowany odbiornik czy miernik. W celu zobrazowania omawianej charakterystyki częstotliwościowej, można dokonać zawężenia abstrakcyjnej przestrzeni wielowymiarowej, do bliższej naszej wyobraźni przestrzeni trójwymiarowej, bez uszczerbku dla meritum sprawy.

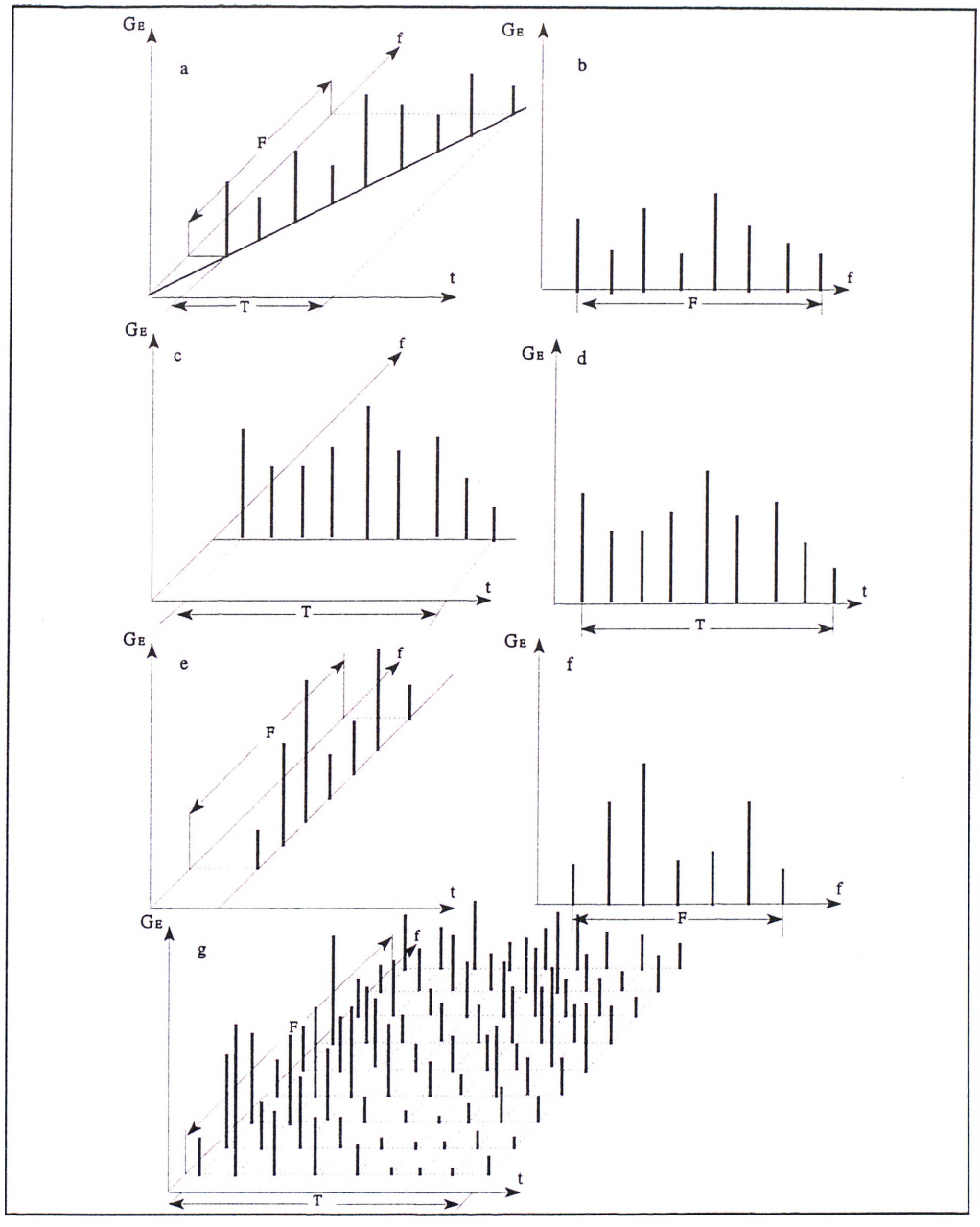
I tak, jeśli oś pionową tej przestrzeni przyporządkować gęstości energii elektromagnetycznej, a osie poziome - częstotliwości i czasowi, to rezultaty pomiarów możliwych do wykonania w interesującym nas obszarze, utworzą charakterystyczną powierzchnię, mniej lub bardziej pofałdowaną. Uwypuklenia tej powierzchni odpowiadać będą dużym, zagłębienia zaś - małym gęstościom energii. Emisje wąskopasmowe tworzyć będą ostre "szczyty" o stromych zboczach, szerokopasmowe zaś szerokie łagodne grzbiety "górskie", gdyby posłużyć się słownictwem geograficznym.

Pomiary punktowe odpowiadać będą geodezyjnym pomiarom wysokości oddzielnych punktów terenowych, natomiast ciągła rejestracja (np. zajętości kanałów) - przekrojom "terenowym", wykonanym wzdłuż "równoleżnika" stałej częstotliwości.

---

[1] Pasmo fal centymetrowych - SHF (Super High Frequency) - Częstotliwość superwielka 3-30 GHz. Pasmo fal milimetrowych - EHF (Extremely High Frequency) - Częstotliwość nadzwyczaj wielka 30-300 GHz.

Podobnie szybką analizę widmową odpowiadającą pomiarom przekroju terenowego, przeprowadzić można wzdłuż linii stałego czasu. Przypadki te zilustrowano na rysunku 1.8.



Rys. 1.8. Różne metody pomiarów sytuacji radioelektronicznej w określonym punkcie przestrzeni; a, b - pomiary punkt po punkcie (charakterystyka częstotliwościowa; c, d - rejestracja charakterystyki czasowej; e, f - rejestracja charakterystyki częstotliwościowej; g - rejestracja pełnej charakterystyki sytuacji radioelektronicznej.

W lewej części rysunku pokazano ślady takich przekrojów na płaszczyźnie "częstotliwość-czas", natomiast w prawej uwidoczniono same przekroje.

W przypadku pokazanym na rys 1.8. "a", każdy pomiar wykonany został dla innej częstotliwości i w innym czasie, obejmując przedział częstotliwości F i przedział czasu T. Rysunek ten odzwierciedla typowe pomiary "punkt po punkcie" i jak widać - taka metoda pomiarów może być stosowana tylko w odniesieniu do procesów niezmieniających się w czasie T.

Rejestracji charakterystyk czasowych odpowiadają wykresy na rys. 1.8. "c" i "d", a częstotliwościowych - na rys. 1.8."e" i "f".

Z wykresu podanego na rys. 1.8. "g" wynika, że przy powtarzaniu pomiarów i zapamiętywaniu wyników, możliwe jest odzwierciedlenie całej sytuacji radioelektronicznej w określonym punkcie, a nie tylko określonych jego "przekrojów terenowych". Współczesna elektronika takie możliwości stwarza, pod warunkiem zastosowania nowoczesnych systemów pomiarowo-przetwarzających[1].

Oprócz parametrów takich jak częstotliwość czy moc sygnału radiowego, ostrukturze emisji[2] bezpośrednio decyduje rodzaj modulacji[3].

Przy zastosowaniu jako nośnika informacji drgań wielkiej częstotliwości mających trzy parametry: amplitudę, częstotliwość i fazę, rozróżnia się trzy rodzaje modulacji:

- modulację amplitudy;
- modulację częstotliwości;
- modulację fazy.

Przy zastosowaniu jako nośnika okresowego ciągu impulsów rozróżnia się:

- modulację amplitudy impulsów;
- modulację częstotliwości impulsów;

---

[1] Dokładność pomiarów ograniczona jest zasadą nieoznaczoności HEISENBERGA. Zasada ta mówi, że niepewność pomiaru energii jest określana wartością stałej PLANCKA podzielonej przez czas trwania pomiaru. W naszym przypadku, czas ten odpowiada odstępowi między dwoma impulsami promieniowania radiowego.

[2] Emisja radiowa - przesyłanie sygnałów elektrycznych zawierających informacje za pomocą fal radiowych. Encyklopedia techniki. PWN Warszawa 1986 r.

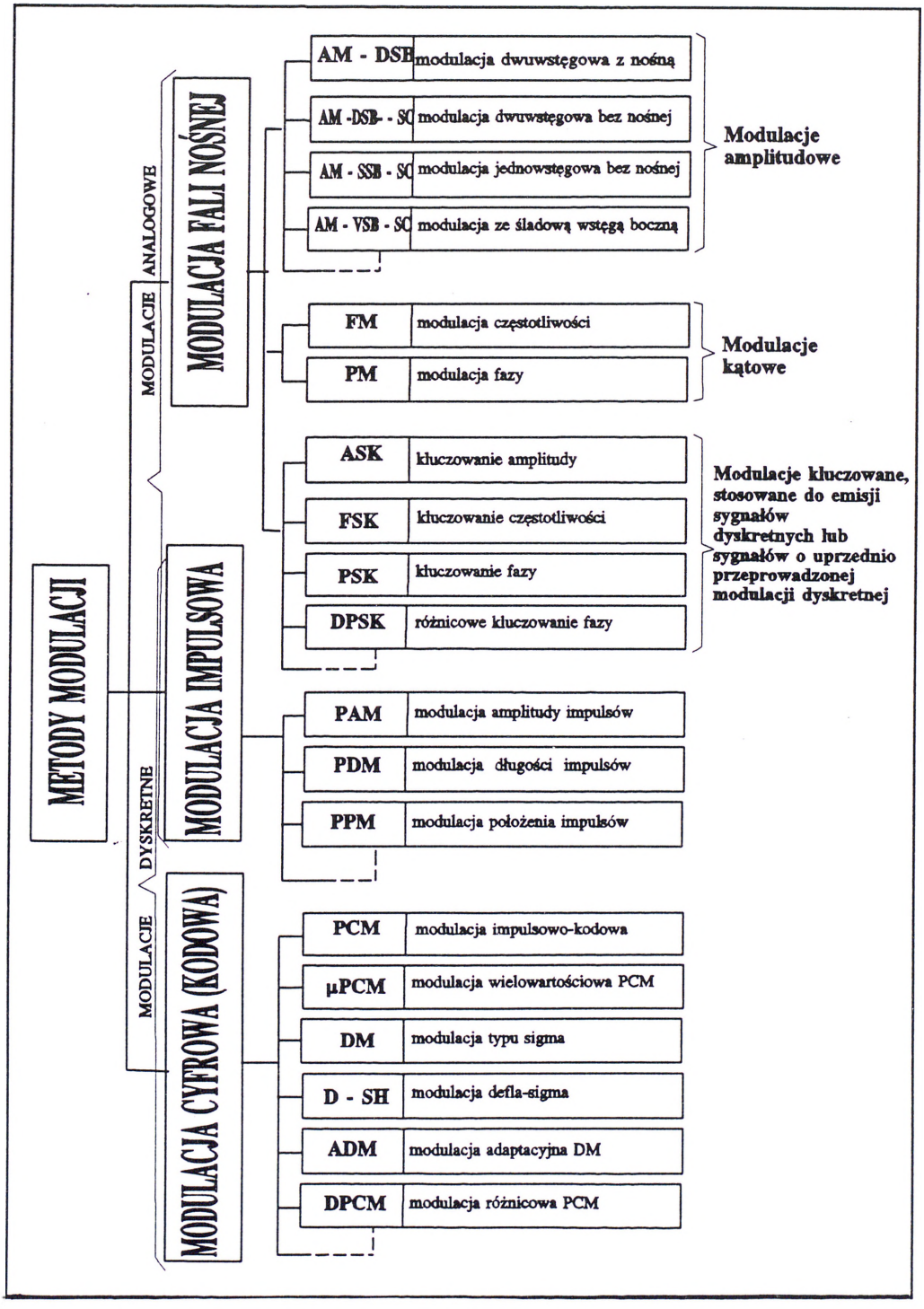
[3] Modulacja - proces oddziaływania na dowolny parametr nośnika w celu odwzorowania przesyłanej wiadomości za pomocą zmian parametrów nośnika. Encyklopedia Techniki Wojskowej, MON, Warszawa 1987.

- modulację czasu trwania impulsów.

Z modulacji cyfrowych (kodowych) wyróżnić można:

- modulację impulsowo-kodową;
- wielowartościową modulację PCM;
- modulację typu delta;
- modulację delta-sigma;
- modulację adaptacyjną (DM);
- modulację różnicową PCM.

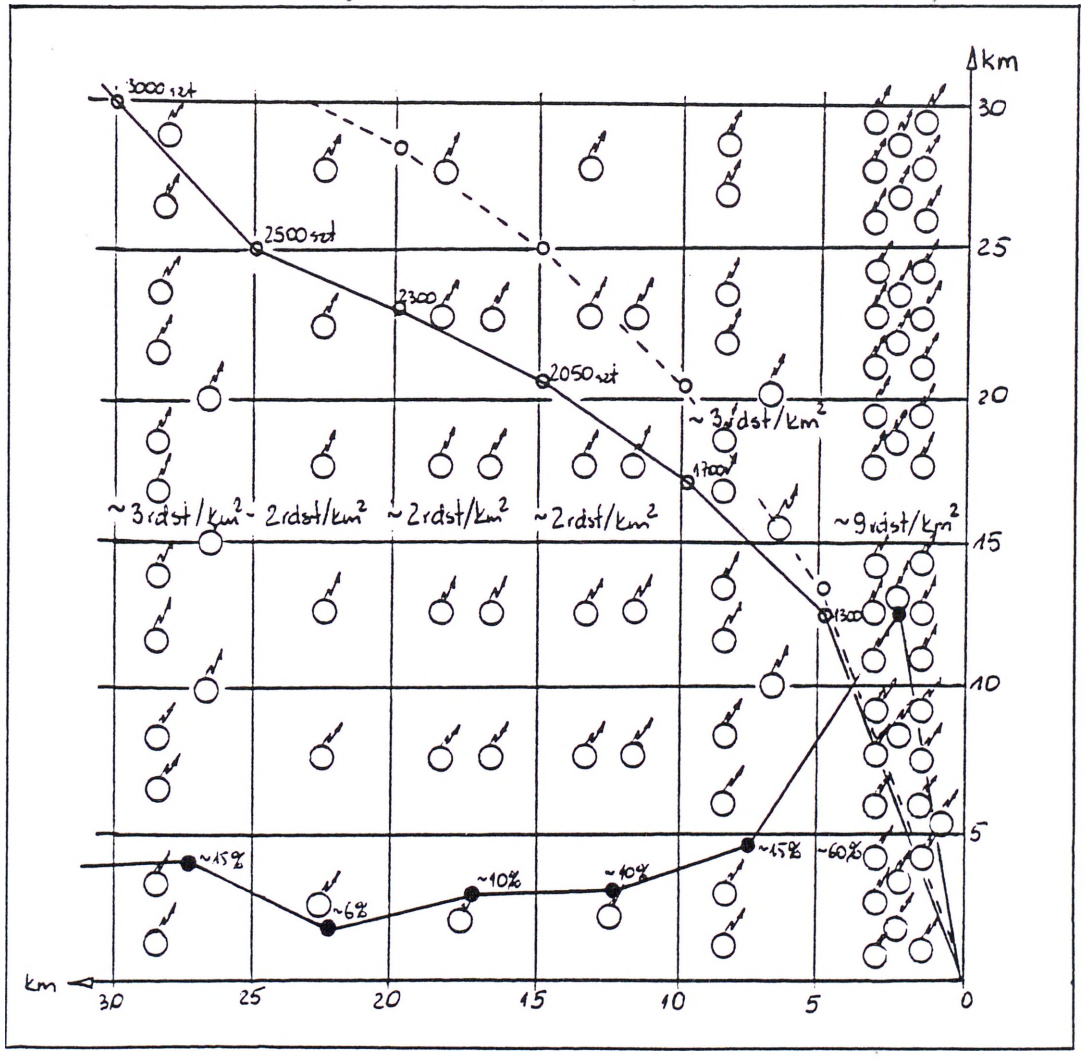
Zestawienie poszczególnych metod i rodzajów modulacji ilustruje rys. 1.9.



Rys. 1.9. Metody i rodzaje modulacji fali nośnej.

Środki łączności wykorzystujące wymienione modulacje w relacjach pomiędzy stanowiskami dowodzenia i węzłami łączności tworzyć będą określoną sytuację radioelektroniczną.

W pasie działania związku operacyjnego znajdować się będzie od 9 do 12 tysięcy różnego rodzaju środków łączności, z czego około 75-80 % stanowić będą środki radiowe UKF. Jest oczywistym, że nie wszystkie będą pracowały w jednym czasie, jednak praca tylko 10 % środków z ogólnej liczby daje wyobrażenie o zadaniu stojącym przed rozpoznaniem i obezwładnianiem radioelektronicznym. Przykładowe nasycenie środkami łączności radiowej pasa działania dywizji przedstawia rys. 1.10.



Rys. 1.10. Wariant nasycenia środkami łączności radiowej pasa działania dywizji.

Środki łączności radiowej UKF wykorzystywane są praktycznie przez wszystkie szczeble dowodzenia analizowanych systemów z tym, że w taktycznym ogniwie (do brygady włącznie) są środkiem podstawowym. Na szczeblu taktyczno-operacyjnym i operacyjnym ustępują miejsca środkom łączności radioliniowej i satelitarnej, oczywiście w państwach które łączami satelitarnymi dysponują.

Od początku lat 80-tych, w państwach realizujących program C^3I rozpoczęto wymianę radiostacji analogowych na cyfrowe, pracujące w systemie modulacji szerokopasmowej ze skokową zmianą częstotliwości. W przypadku Bundeswehry rodzina radiostacji UKF małej mocy o symbolach SEM 172, SEM 182 i SEM 192, zastąpi urządzenia serii SEM 25 i SEM 35.

Radiostacje zakresu krótkofalowego serii CHX 200, również przystosowane do skokowej zmiany częstotliwości, budowane z 5 niezależnych modułów pozwalających na tworzenie zestawów nadawczo-odbiorczych małej, średniej i dużej mocy zastąpią w siłach zbrojnych RFN radiostacje KF starego parku. Podstawowe dane techniczne tych radiostacji ilustruje tabela 1.2.

W armiach dysponujących zautomatyzowanymi systemami dowodzenia, od szczebla brygady wzwyż zanika pojęcie sieci radiowej, gdyż w dotychczasowym rozumieniu sieć radiowa UKF praktycznie nie istnieje. Środki łączności radiowej UKF służą swoim użytkownikom jako urządzenia końcowe systemów dowodzenia. W dowolnym zautomatyzowanym systemie dowodzenia (np. AUTOKO), kierunek radiowy to relacja łączności pomiędzy użytkownikiem radiostacji i centralą radiową, gdzie następuje dobór żądanego korespondenta będącego abonentem tego systemu.

Jednak w większości współczesnych systemów dowodzenia, zasadniczym zadaniem łączności radiowej jest zapewnienie bezpośrednich relacji pomiędzy stanowiskami dowodzenia. W armiach będących w strefie naszego zainteresowania na szczeblach taktycznym i operacyjnym, wykorzystywane są radiostacje czterech generacji:

- R-105M, R-108D, R-109D, R-113 i R-114 - I generacja;
- R-107, R-123, R-111, R-137 i R-140 - II generacja;
- R-171, R-173, R-157, R-158, R-159, R-161 - III generacja;
- rodzina radiostacji ARBALET - IV generacja.

Podstawowe dane taktyczno-techniczne tych środków łączności ilustrują poniższe tabele 1.3., 1.4. i 1.5.

Tabela 1.2.

Podstawowe dane techniczne radiostacji sił zbrojnych RFN

Wyszczególnienie	SEM 172	SEM 182	SEM 192	CHX 200
Zakres częstotliwości (w MHz)	30 - 79,975			-nadajnika -1,5-30 -odbiornika - 0,1÷30
Rodzaj pracy	F3E, simplex, transmisja danych do 16 kbit/s, FH, retransmisja			A1A, A3E, A4J, F1B (± 85÷425 Hz) transmisja danych 50, 100 lub 200 bodów
Odstęp międzykanałowy (kHz)	25			100 Hz
Liczba kanałów	2 000			285 000 (dla 100 Hz)
Liczba wcześniej przygotowanych częstotliwości	10			9/16
Moc wyjściowa	0,4/4	0,4/4	4/50	CHX 210 - 100W CHX 240 - 400W
Stabilność częstotliwości	-	-	-	$1*10^{-7}$
Stopień utajnienia	Wysoki cyfrowy			Wysoki cyfrowy

Tabela 1.3.

Środki łączności I i II generacji

Typ	Zakres częstotliwości (MHz)	Ilość fal roboczych	Moc (W)	Zasięg (km) (ze wzmacniaczem)	Czas rozwijania (min)	Rodzaj pracy	Szczebel
R - 105 d	36,0 - 46,1	203	1,5	1,5 - 7	3 - 5	FM	pl. - bat.
R - 108 d	28,0 - 36,5	171	1,7	1,5 - 6	3 - 5	FM	pododdz. art.
R - 109 d	21,5 - 28,5	141	1,7	1,5 - 7 (do 25)	3 - 5	FM	pododdz. OPL.
R - 113	20,0 - 22,375	96	16	10 - 20	-	FM	WD,BWP, czołgi
R - 114 d	20,0 - 26,0	241	1	1,5 - 7 (do 25)	3 - 5	FM	do organizacji współdziałania wojsk pancernych i zmechan.
R - 352	44,0 - 50,0	-	1	5 - 15	3 - 5	FM	jedn. rozp. (SPR-y, patrole roz.)
R - 17	20,0 - 52,0	1 281	1,5	6 - 8	-	FM	komp.- bat
R - 111[1]	20,0 - 52,0	1 281	75	35 - 60	-	FM	bat., pułk, dyw. WD
R - 123[1]	20.0 - 51,5	1 261	20	do 25	-	FM	takt. WD, BWP,czołgi
R - 137[1]	20 - 60,0 nad 1,5 - 60,0 odb		1 000	70 - 150	60	FM	dyw. armia
R - 140[1]	1,5 - 30,0	280 000	1 000	200 - 300 do 3 000	90	AM, FM, SSB, tlg	dyw. armia
R - 830	3,0 - 24,0 nad 1,5 - 25,0 odb			do 150 tel	9 - 240	tel.,tlg	lotnicza
R - 831 R - 803	199,0 - 400,0						lotnicza
RADIOLINIE							
R - 405	60,0 - 69,0 390,0 - 420	234 131	2 kan tlf 2 kan tlg	25 - 40			pułk, dyw.
R - 409	60,0 - 120,0 120,0 - 240,0 240,0 - 480,0	1281	6 kanałów	Zasięg do 150 przy 3 retlanslatorach			dyw. armia

Tabela 1.4.

Radiostacje UKF III generacji

Typ (zamieni radio-stację I generacji)	Zakres częstotliwości	Rodzaj pracy		Moc (W)	Zasięg łączności (km)	Ilość zawczasu przygotowanych częstotliwości roboczych	Masa (kg)	Szcze-bel
		tlf	tlg					
R -171 (za R - 111)	30.0 - 75,999	FM	TTG	do 80	35 - 70	10	80	bat.- dyw.
R - 173 (za R- 123)	30 - 75,999	FM	-	do 25	do 30	10	25	pułk - dyw.
R - 173 P	30,0 - 75,999	FM	-	-	-	10	14	-
R - 157	44,0 - 54,0	FM	-	0,15	1	-	2,5	-
R - 158	30,0 - 75,999	FM	-	1	do 15	-	3,6	bat. - pułk
R - 159 (za R - 107M)	30.0 - 75,999	FM	TTG	5	do 30	-	11,5	bat.
R - 161 9 EKWATOR)	1,5 - 60,0	AM	TTG	1200	-	20	-	dyw. Armia

Tabela 1.5.

Podstawowe dane taktyczno-techniczne radiostacji IV generacji "ARBALET"

Typ	Zakres częstot-liwości (MHz)	Odstęp częstot-liwości (kHz)	Czas przestra-jania na częstot-liwość zapasową (sek)	Zasięg łączności (km)	Masa (nosiciel)	Ilość zawczasu przygoto-wanych częstot-liwości	Prawdopo-dobny czas bezawaryj-nej pracy (h)	Szczebel
ARBALET - 0,1 U	44 - 54	25	-	1	1	-	20 000	pododdz. spec.
ARBALET - 0,5 R	44 - 54	25	-	1 - 3	2	-	20 000	dca komp.
ARBALET- P	44 - 54	25	-	-	1,8	-	20 000	drużyna
ARBALET - 1 U	30 - 80	25	<0,1	5	4,65	4	15 000	do bata-lionu
ARBALET - 10 U	30 - 80	1	<0,1	10 - 40	10	10	10 000	bat. - pułk
ARBALET - 50 U	30 - 80	1	<0,1	20 - 60	30	16	7 500	WD,BWP, czołgi
ARBALET - 250 U	30 - 80	1	<0,1	35 - 80	GAZ 66, BTR	16	5 000	dyw.,pułk specjal.
ARBALET - UP	30 - 80	1	<0,1	-	15	16	10 000	WD,BWP, czołgi
ARBALET - 1W	80 - 120	5	<0,1	1,5 -3	9	8	10 000	przen.
ARBALET - 10 W	80 - 120	5	<0,1	5 - 20	8	8	7 000	WD,wozy spec.
ARBALET - AR	80 - 120	-		-	8	16	10 000	WD

Ponadto na szczeblu operacyjnym armii rosyjskiej i WPN wykorzystuje się następujące radiostacje UKF:

- R-450 - I generacja;
- R-137M, R-454, R-453 - II generacja;
- R-161, R-412, BRIG - III generacja.

W państwach tych radiostacje UKF wykorzystywane są w klasyczny sposób, tzn. w sieciach i kierunkach radiowych pomiędzy poszczególnymi stanowiskami dowodzenia.

Tworzone są z nich również relacje radiowe kierowania ogniem artylerii, obroną plot, rozpoznaniem oraz kierowania ruchem lotniczym. Podobnie środki radioliniowe pracują na dotychczasowych zasadach, tworząc osie lub kierunki radioliniowe.

1.3. MOBILNOŚĆ DOWODZENIA

W literaturze zachodniej "mobilnością dowodzenia" (kierowania) nazywa się walkę sztabów o czas.

Czas, jako pojęcie filozoficzne i fizyczne, stanowi jedną z podstawowych (obok przestrzeni) form bytu materii i jej nieodłączny atrybut. W mechanice relatywistycznej czas stanowi czwartą współrzędną czasoprzestrzeni.

W prowadzonej analizie czas również stanowi wielkość podstawową. Bez przebiegów czasowych nie sposób dokonać analizy samego zjawiska drgań elektromagnetycznych, jego widma częstotliwości czy rodzajów modulacji. Wielkości i jednostki charakteryzujące spektrum elektromagnetyczne, są w istocie pochodnymi czasu i zostały omówione wcześniej. Nie sposób jednak na tym poprzestać, bowiem czas zawsze był, jest i będzie ważnym determinantem prowadzenia działań bojowych.

W operacji występują trzy podstawowe formy przejawiania się czasu:

- jako fakultatywny czas planowania operacji;
- jako realny czas przebiegu operacji;
- jako czas akcji lub reakcji.

Dla procesu kierowania walką i operacją czas akcji (reakcji) jest najistotniejszy. Dlatego też wszystkie wysiłki mające na celu optymalizację procesu zdobywania informacji, jej opracowywania i przekazywania, są faktycznie walką o czas (lub z czasem) akcji (reakcji).

Owa walka o czas rozgrywa się przede wszystkim pomiędzy antagonistycznymi sztabami dowodzenia. Głównym celem działania dowódcy jest wykonanie zadania, związki, oddziały i pododdziały walczą o punkty, obiekty, obszary i przestrzeń, natomiast o wygraniu lub przegraniu przez sztaby walki o czas zadecydują takie czynniki jak jakość i szybkość zdobywania, opracowywania i przekazywania informacji. Walkę sztabów o czas, można empirycznie przedstawić za pomocą metod matematycznych. W tym celu konieczne jest wprowadzenie pojęcia "czasu krytycznego" - T_K. Jest to taki czas, po upływie którego realizowana przez wojska operacja, nie może zakończyć się planowanym lub oczekiwanym efektem.

Wprowadzenie tego parametru umożliwia ocenę skuteczności dowodzenia. Matematycznie można to wyrazić za pomocą następującej nierówności:

$$T_d + T_r < T_K$$

gdzie:

T_d - czas przebiegu procesu dowodzenia;

T_r - czas niezbędny wojskom na realizację określonego zadania;

T_K - czas krytyczny.

W walce o czas należy pamiętać o wartościach granicznych, których nie da się przekroczyć przy obecnym stanie wiedzy. Owe ograniczenia dotyczą również spektrum elektromagnetycznego. Na przykład, szybkość przekazywania informacji w kanałach radiowych obwarowana jest granicznymi wartościami wykorzystywanych fal radiowych. Ograniczenia te to między innymi:

- wielkość strumienia przekazywanych informacji która jest uzależniona od szerokości wykorzystywanego pasma przenoszenia kanału;

- każdy kanał ma określony, minimalny czas przekazywania informacji o określonej objętości;

- prędkość rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych ograniczona jest do wartości 3 x 10^8 m/sek.

Wykorzystywanie widma elektromagnetycznego w systemach dowodzenia powoduje, że ograniczenia te mają bezpośredni wpływ na czas reakcji wojsk i systemów broni. Dlatego też, zbadanie i znajomość tych zależności umożliwia wywieranie wpływu na szybkość działania przeciwnika, co jest prawie równoznaczne z uzyskaniem zdobyczy czasowych. Osiągnięcie zdobyczy czasowych, a także utrata czasu są możliwe we wszystkich wymiarach operacji. Pamiętać przy tym należy, że zyski i straty czasu w jednym wymiarze, mają bezpośredni wpływ na pozostałe wymiary operacji w każdym jej etapie.

Czas jest więc niezwykle ważną i istotną wielkością tak w operacji jak i w samym procesie dowodzenia, a jako kryterium działań bojowych, może okazać się jednym z ważniejszych.

1.4. WNIOSKI

Dowodzenie we współczesnych armiach zorganizowane jest w oparciu o hierarchiczny system stanowisk dowodzenia. Owe stanowiska, z organami dowodzenia mającymi możliwości zdobywania i analizy informacji niezbędnych do podjęcia decyzji oraz systemem łączności zapewniającym obieg informacji, są elementami stanowiącymi podstawę każdego systemu dowodzenia na wszystkich szczeblach organizacyjnych. Jednocześnie dla systemu walki radioelektronicznej przeciwnika, stanowiska dowodzenia są jednymi z głównych obiektów oddziaływania.

W pasie zainteresowania związku operacyjnego może funkcjonować od 24 do 31 stanowisk i punktów dowodzenia szczebli: operacyjnego i taktycznych, oraz od 12 do 90 węzłów rejonowych.

Zasadniczymi elementami wszystkich stanowisk dowodzenia są węzły łączności. W pasie działania związku operacyjnego mogą być rozwinięte następujące węzły łączności:

- do 3 WŁ SD ZO;
- 6-9 WŁ SD DZ (DPanc);
- 9-12 WŁ SD brygad (pułków);

- do 4 WŁ SD artylerii ZO i dywizji;
- 3-4 WŁ powietrznych punktów dowodzenia.

Łącznie 37-121 węzłów łączności. Ich ilość może ulec zmianie w zależności od przynależności państwowej[1] oraz sytuacji taktyczno-operacyjnej. Do tej ilości należałoby doliczyć 20-30 stanowisk dowodzenia batalionów.

Znajomość ogólnych norm i zasad rozmieszczania stanowisk dowodzenia w ugrupowaniu wojsk, cech jakim powinny odpowiadać rejony ich rozmieszczenia, stanowią podstawę oceny przeciwnika.

Uśrednione normy obowiązujące w armiach państw sąsiednich zawarte są w tabeli nr 1.6.

Tabela 1.6.

Normy rozmieszczenia stanowisk dowodzenia

Szczebel	Działania zaczepne			Działania obronne			Rejon SD (km^2)	Zmiany SD (w ciągu doby)	Przesunięcie SD (skok) (km)
	SD	WSD	TSD	SD	WSD	TSD			
GA	150 - 200	80 - 100	200 - 250	150 - 200	80 - 100	200 - 250	-	raz na 2 - 3 doby	100 - 150
A/KA	20 - 30	8 - 15	30 - 80	20 - 40	10 - 20	40 - 100	8 - 18	1 - 2 razy	50 - 80
DZ/ DPanc	8 - 20	4 - 6	15 - 40	15 - 40	5 - 10	12 - 50	0,1 - 0,8	2 - 3 razy	20 - 30
BZ/ BPanc	4 - 8	1,5 - 2	10 - 25	10 - 25	2 - 5	10 - 25	0,3	3 - 4 razy	10 - 20
bcz	0,5 - 2		1,5 - 4	2,5 - 5	-	2,5 - 5	-	ruchome	-
bz	1 - 2		3 - 5	1,5 - 3	-	2,5 - 5	-	ruchome	-

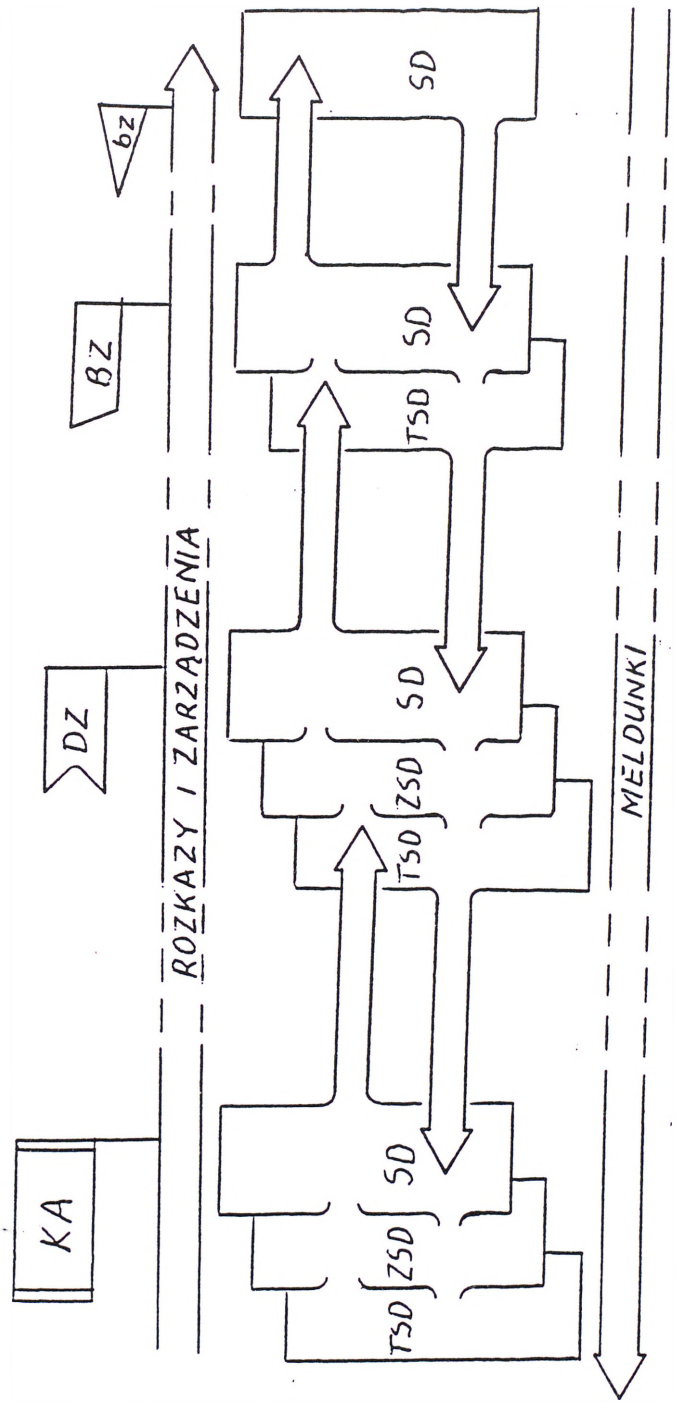
Sposób obiegu informacji w systemach dowodzenia pozwala wyróżnić dwa podstawowe ich rodzaje:

- hierarchiczne systemy szeregowe, w których przekaz informacji odbywa się kolejno - od szczebla najwyższego, poprzez szczeble pośrednie, do szczebla wykonawczego i analogicznie w przeciwną stronę;
- wielostopniowe systemy równoległe, w których przekaz informacji jest możliwy zarówno do jednego, jak i kilku kolejnych ogniw dowodzenia w obu kierunkach.

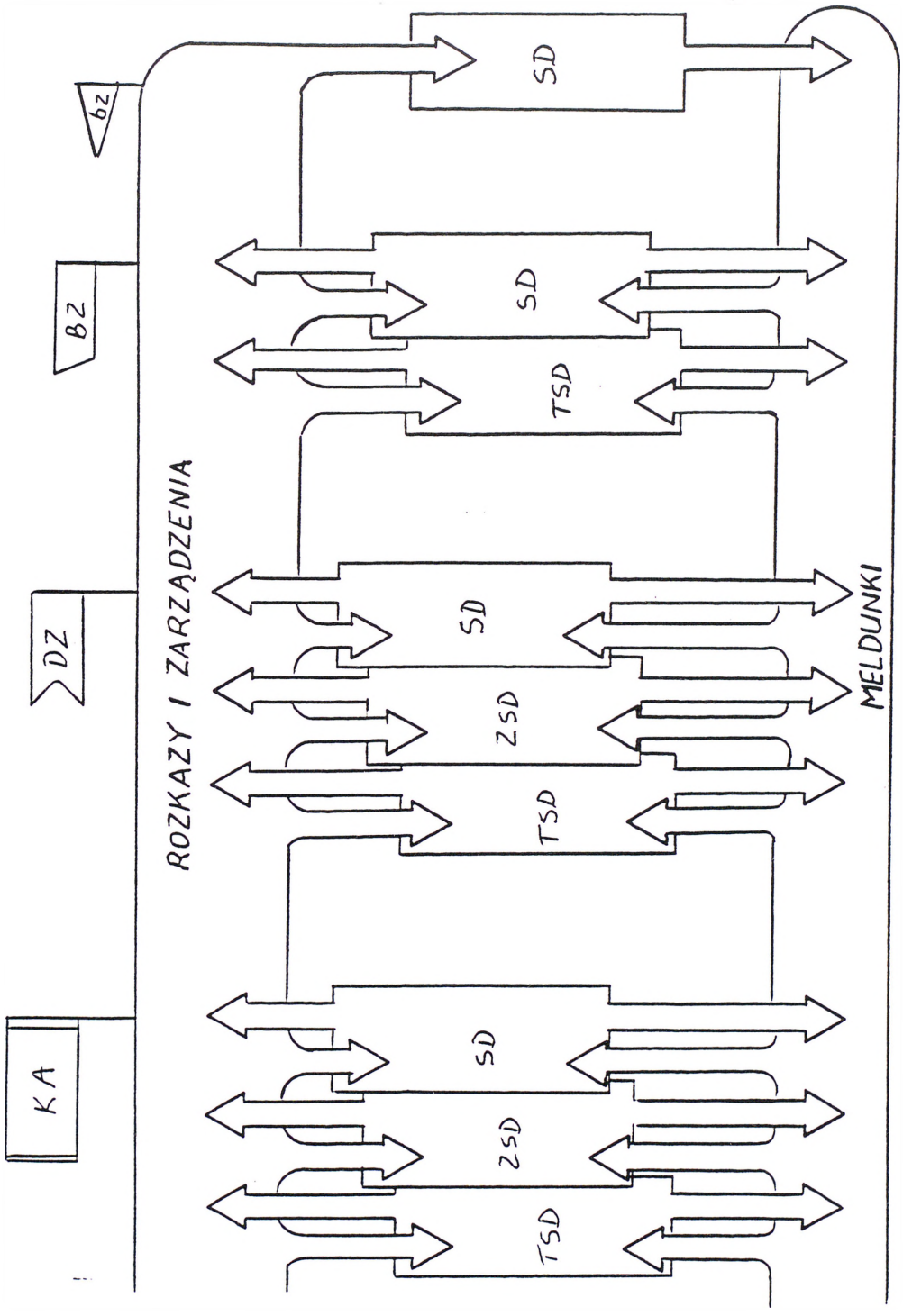
Schemat ideowy obu systemów przedstawiają rysunki 1.11 i 1.12.

---

[1] W armiach państw Europy Środkowej i Wschodniej nie jest rozwijany system rejonowych węzłów łączności.



Rys. 1.11. Hierarchiczny system szeregowy.



Rys. 1.12. Wielostopniowy system równoległy.

Hierarchiczne systemy szeregowe funkcjonują w nielicznych armiach państw ościennych, są bowiem bardzo podatne na obezwładnienie. Wyeliminowanie choćby jednego ogniwa w tym systemie, doprowadza do naruszenia pracy całego systemu. Dlatego też przyszłość należy do systemów równoległych, których główną zaletą jest ich duża żywotność.

Owa żywotność wynika z tego, że pracę takiego systemu można naruszyć tylko przez jednoczesne oddziaływanie ogniowe i obezwładnianie radioelektroniczne na elementy wszystkich szczebli dowodzenia tj. pododdziałów, oddziałów, związków taktycznych itd.

Ponadto, niewątpliwym atutem systemów równoległych jest znaczne skrócenie w nich czasu obiegu informacji, od jej pozyskania do dystrybucji wśród zainteresowanych użytkowników. Według zgodnej oceny zarówno wschodnich jak i zachodnich ekspertów wojskowych, skrócenie tego czasu będzie miało decydujący wpływ na wywalczenie przewagi i zwycięstwo w tzw. wojnie informacyjnej[1].

Istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność systemów dowodzenia jest infrastruktura wymiany danych, którą tworzą sieci bazowe szczebli operacyjnych i taktycznych, sieci radiowe i kierunki radioliniowe oraz lokalne sieci komputerowe stanowisk dowodzenia. Zasadnicze znaczenie dla funkcjonowania wymienionych sieci ma budowa nowoczesnych systemów łączności.

Podstawowymi czynnikami wymuszającymi zmiany zachodzące w dziedzinie łączności wojskowej są:

- wzrost liczby abonentów w sieciach;
- wzrost ilości danych przekazywanych w sieciach;
- wzrastające zapotrzebowanie na nowe usługi telekomunikacyjne.

Przełomowym momentem przebudowy systemów łączności, była decyzja o zastąpieniu środków analogowych przez środki cyfrowe. Od tego momentu środki łączności analogowej są systematycznie wypierane przez środki łączności cyfrowej. Kolejnym milowym krokiem było wykorzystanie komputerów do sterowania i kontroli pracy w sieciach łączności.

---

[1] Przez pojęcie "wojny informacyjnej" rozumie się rozpoznanie prowadzone we wszystkich dostępnych wymiarach, w celu wykrywania, określania położenia celów w ugrupowaniu bojowym przeciwnika, dowodzenie i łączność oraz walkę radioelektroniczną.

Technika cyfrowa umożliwia m.in.: kodowanie przesyłanych sygnałów z odpowiednią mocą kryptograficzną, czasowe zwielokrotnienie kanałów, stosowanie modulacji szerokopasmowych. Nowe techniki modulacji powodują zwiększenie odporności systemów łączności na rozpoznanie i zakłócanie dotychczas stosowanymi środkami.

Zwielokrotnienie czasowe kanałów daje możliwość łatwej synchronizacji pracy sieci, co w połączeniu z podziałem cyklu transmisyjnego na ściśle ustalone przedziały czasowe dla każdego abonenta, umożliwia pomiar odległości i lokalizację radiostacji pracujących w sieci.

Strukturę sieciową jaką mają na ogół współczesne systemy łączności, tworzą węzły i łącza wielokanałowe.

Zapewniają one łączność foniczną, dalekopisową, telekopiową i transmisję danych, co wymaga dużej przepustowości łączy, odpowiedniej szybkości transmisji, co wymusza przechodzenie na coraz wyższe zakresy częstotliwości. Sama cyfrowa łączność foniczna wymaga szybkości transmisji 64 kb/s, którą można obniżyć do 16 kb/s przy zastosowaniu modulacji delta. Standardowy kanał łączności zakresu krótkofalowego (1.5-30 MHz) staje się mało użyteczny, gdyż zapewnia szybkość transmisji do 2.4 kb/s. Stąd też dla potrzeb transmisji cyfrowych tendencja do przechodzenia w wyższe zakresy częstotliwości: VHF (30-300 MHz), UHF (300-3000 MHz), a w łączności satelitarnej - SHF (3-30 GHz) i EHF (30-300 GHz).

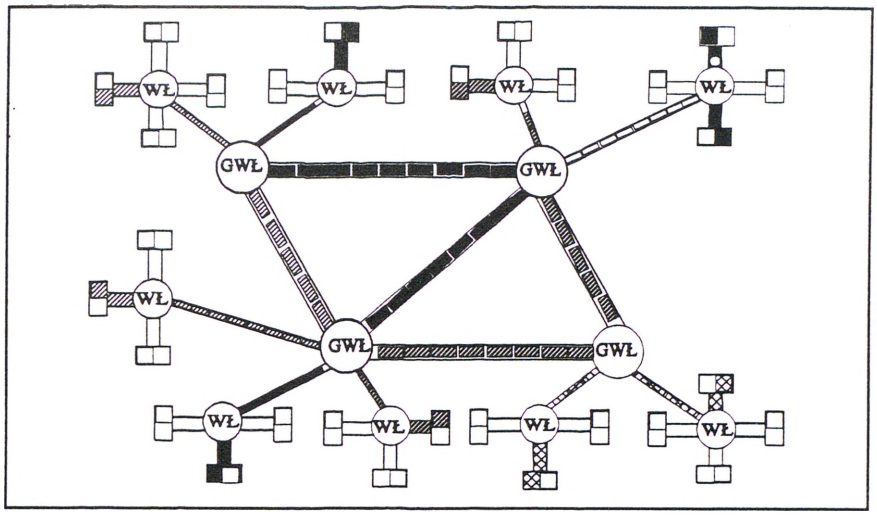
Wśród już eksploatowanych oraz wprowadzanych do wojsk systemów łączności różnych szczebli wyróżnić można sieci infrastrukturalne i taktyczne.

W sieciach infrastrukturalnych łącza foniczne i transmisji danych są od siebie oddzielone.

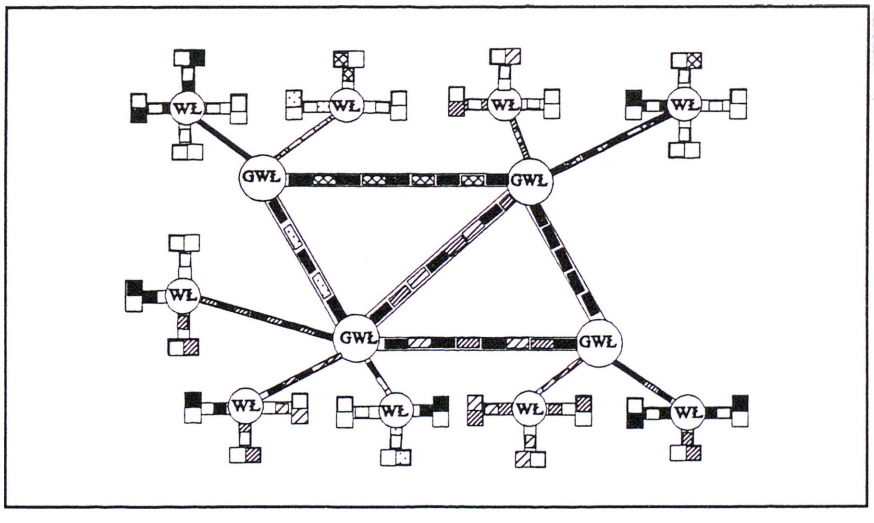
W łączności fonicznej wykorzystywane są łącznice z klasycznymi komutatorami, przy zastosowaniu których droga połączenia pozostaje niezmieniona przez cały czas trwania połączenia.

Natomiast transmisja danych odbywa się z użyciem techniki pakietowej, w której dane są transmitowane w postaci pakietów informacyjnych o określonej wielkości, a ich przepływ nie jest korelowany czasowo w toku transmisji.

Ideę komutacji połączeń i komutacji pakietów ilustrują rysunki 1.13 i 1.14.



Rys. 1.13. Klasyczna komutacja połączeń tworzy jednolite połączenie przez czas trwania transmisji. Połączenia są przejrzyste.



Rys. 1.14. Komutacja pakietów zmniejsza przejrzystość transmisji, umożliwia jednak przekazywanie informacji po tych samych łączach sieci.

Do pracy w sieci infrastrukturalnej mogą włączać się również abonenci ruchomi. Każdy z nich otrzymuje własny stały numer wywoławczy, a urządzenia kontroli pracy sieci mają aktualne dane, do jakiego węzła w danej chwili abonent ruchomy jest przypisany.

Zabezpieczenie sieci infrastrukturalnej przed niepowołanym dostępem do przekazywanych informacji jest zapewnione przez szyfrowanie u nadawcy i rozszyfrowanie u odbiorcy.

Przepustowość łączy w sieciach infrastrukturalnych jest bardzo duża. Obecnie użytkowana sieć tego typu w RFN zapewnia łączność w 8 kanałach o przepusto wości 2 Mb/s każdy, a w przyszłości planuje się osiągnąć przepustowość kanału ok. 8 Mb/s.

Dalszym krokiem w rozwoju sieci infrastrukturalnych ma być integracja łączności fonicznej i transmisji danych na poziomie abonenta. Przewiduje się, że użytkownik będzie dysponował trzema kanałami dwukierunkowymi o przepustowości 64 kb/s każy do cyfrowej łączności telefonicznej i szybkiej transmisji danych.

W sieciach taktycznych podstawowe wymagania są podobne do tych, jakie stawia się sieciom infrastrukturalnym.

Są to również w większości sieci łączności cyfrowej, jednak z tradycyjną komutacją połączeń. Ten rodzaj komutacji nie dorównuje technice pakietowej, głównie ze względu na optymalizację wykorzystania łączy. Szyfrowanie i deszyfrowanie odbywa sie u abonentów, bez udziału elementów pośrednich sieci. Większość sieci taktycznych umożliwia włączenie się do niej abonentów ruchomych.

Połączenia między węzłami sieci (z wyjątkiem rosyjskiego PASUW-u) realizowane są za pomocą środków radioliniowych. Natomiast połączenia central radiowych z węzłami głównymi systemu realizowane są za pomocą wieloparowych łączy przewodowych i radioliniowych (RFN-owski AUTOKO).

Abonenci ruchomi w wojskowych systemach łączności korzystają z wprowadzanych radiowych sieci komórkowych. Sieć komórkowa jest rozwijana na określonym obszarze podzielonym na rejony, które częściowo nakładają się na siebie. Każdy rejon ma własną stację węzłową, pracującą na przydzielonej częstotliwości roboczej (inna dla każdego rejonu).

W eksploatowanych sieciach komórkowych wykorzystywane są głównie tradycyjne modulacje analogowe. Są już jednak próby wprowadzania elementów sieci komórkowych do łączności cyfrowej. Obecnie, dostęp do sieci zapewniają abonentom eksploatowane radiostacje jednokanałowe, w strefie objętej zasięgiem systemu.

W wielu państwach dąży się do osiągnięcia standaryzacji nowo produkowanego sprzętu i opracowanie skutecznego systemu nadzorowania i kontroli sieci, przydzielania częstotliwości roboczych oraz efektywnego ich wykorzystania w taktycznych sieciach radiowych. Ciągła i precyzyjna kontrola pracy sieci konieczna jest ze względu na coraz większe nasycenie wojsk radiostacjami przystosowanymi do pracy ze skokową zmianą częstotliwości oraz coraz szersze stosowanie urządzeń automatycznego wyboru kanałów łączności, urządzeń szybkiej telegrafii i transmisji danych, mogących powodować wzajemne zakłócenia w tych sieciach.

W dziedzinie łączności satelitarnej, do końca lat 90-tych, główny wysiłek będzie skierowany na umieszczeniu na orbitach satelitów nowej generacji oraz zapewnieniu współdziałania z systemami już eksploatowanymi. Odnotować należy również starania kilku małych państw europejskich, o umieszczenie własnych satelitów telekomunikacyjnych.

Innym współczesnym trendem wykorzystania przestrzeni kosmicznej, jest umieszczanie na niskich orbitach lekkich satelitów (o masie do kilkuset kilogramów), o czasie pracy od kilku miesięcy do 2 lat. Wystrzeliwane na żądanie dowódców, miałyby służyć do tworzenia kanałów łączności szczebla operacyjnego i taktycznego w określonej strefie operacyjnej lub jako elementy systemów radiolokacyjnych bazowania kosmicznego. Zakres ich pracy w systemie łączności obejmowałby pasmo EHF. Budowa lekkich satelitów rozważana jest przez czołowe państwa zachodnioeuropejskie, a armia rosyjska prawdopodobnie dysponuje nimi już od kilku lat.

Ponadto państwa europejskie zamierzają rozszerzyć współpracę w dziedzinie wojskowej łączności satelitarnej w celu obniżenia kosztów przedsięwzięć z tym związanych. Przy wykorzystaniu potencjałów Stanów Zjednoczonych, Rosji i pozostałych państw czyniących owe starania, możliwości w tej dziedzinie są bardzo duże. Planuje się zatem rozpocząć prace badawczo-rozwojowe nad wojskowym programem EUMILSAT, który miałby doprowadzić do uruchomienia niezależnego europejskiego systemu łączności satelitarnej w ciągu 10-15 lat.

Podsumowując powyższe wnioski należy stwierdzić, że w większości armii europejskich, rozwój w dziedzinie łączności ukierunkowany jest głównie na usprawnienie procesu komunikowania się oraz przyspieszenie wymiany danych w

systemach dowodzenia, rozpoznania i kierowania. W konsekwencji mają one doprowadzić do znacznego zwiększenia (prawie o jeden rząd wielkości) szybkości reagowania sztabów i wojsk na zmiany zachodzące na polu walki. Dzięki automatyzacji i zmianie organizacji systemów łączności, w wielu państwach uzyskano około 10-krotny wzrost szybkości realizacji połączeń, co przy dużej niezawodności urządzeń (rzędu kilku tysięcy godzin poprawnej pracy) dało już pod koniec lat 80-tych, około 4-krotny wzrost efektywności tych systemów.

Dalsze - obliczone na lata dziewięćdziesiąte - doskonalenie systemów dowodzenia, kierowania i łączności, ma na celu utrzymanie w ciągłej i wysokiej gotowości bojowej wojsk i systemów broni oraz niezawodną, szybką i odporną na przeciwdziałanie przeciwnika wymianę informacji pomiędzy stanowiskami dowodzenia wszystkich szczebli.

Chcąc mieć kontrolę i możliwość oddziaływania na poddane analizie systemy dowodzenia, należy m.in. posiadać odpowiednie siły i środki rozpoznania i zakłóceń radiowych. Ocena aktualnego potencjału rozpoznania i obezwładniania radiowego systemów telekomunikacji wojskowej zostanie dokonana w rozdziale drugim.

2. AKTUALNY POTENCJAŁ ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Skuteczne wsparcie radioelektroniczne wojsk, będące jednym z czynników nieodzownych dla odniesienia sukcesu na współczesnym polu walki, w dużej mierze zależy od dobrze zorganizowanego i sprawnie funkcjonującego systemu rozpoznania i obezwładniania radioelektronicznego.

System rozpoznania i obezwładniania radioelektronicznego to zbiór sił i środków, rozmieszczonych w odpowiedni sposób w ugrupowaniu wojsk, powiązanych funkcjonalnie ze sobą w celu prowadzenia rozpoznania i aktywnego zakłócania środków i systemów radioelektronicznych przeciwnika.

Struktury rozpoznania i obezwładniania radiowego systemów telekomunikacji wojskowej, należy postrzegać jako element składowy zdefiniowanego systemu rozpoznania i obezwładniania radioelektronicznego.

Zarówno klasyfikację jak i ocenę wartości bojowej istniejącej struktury rozpoznania i obezwładniania radiowego można prowadzić różnymi sposobami.

Do dziś nie stworzono jeszcze wiarygodnego aparatu pomiarowego i nie wypracowano uniwersalnych kryteriów pozwalających na pełną i obiektywną ocenę tych problemów.

Złożoność funkcji realizowanych w procesie walki radioelektronicznej jest tak wielka, że każde z zastosowanych kryteriów może być właściwe, jednak tylko przy określonych, ściśle sprecyzowanych założeniach sytuacyjnych. Dlatego też, podobnie jak w przeprowadzonej analizie systemów dowodzenia, ocena istniejącej struktury rozpoznania i zakłóceń radiowych obejmować będzie najistotniejsze cechy mierzalne wielowymiarowej przestrzeni radioelektronicznej.

W przyjętych strukturach organizacyjnych, które aktualne będą w ciągu najbliższych lat, na szczeblu związku operacyjnego do prowadzenia rozpoznania radiowego batalion rozpoznania radioelektronicznego (brrel), natomiast do obezwładniania systemów dowodzenia przeciwnika, batalion zakłóceń radiowych (bzr).

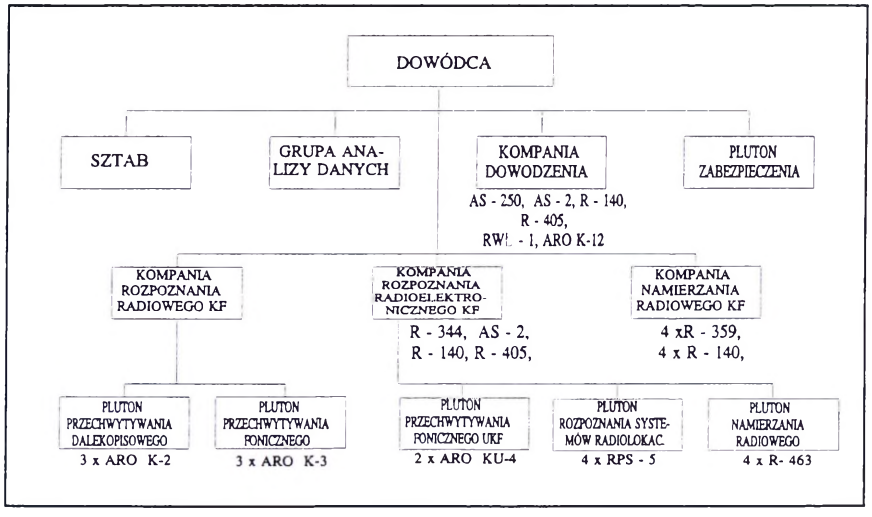
Owe bataliony wraz z batalionem osłony radioelektronicznej oraz pododdziałami kierowania i zabezpieczenia logistycznego tworzą pułk walki radioelektronicznej

podległy organizacyjnie dowódcy związku operacyjnego, a funkcjonalnie oddziałowi rozpoznania i walki radioelektronicznej sztabu ZO.

2.1. MOŻLIWOŚCI ROZPOZNANIA RADIOWEGO ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Batalion rozpoznania radioelektronicznego składa się z: dowództwa, sztabu, grupy analizy danych, kompanii dowodzenia, kompanii rozpoznania radiowego, kompanii rozpoznania radioelektronicznego, kompanii namierzania radiowego oraz elementów zabezpieczenia logistycznego.

Pododdziały batalionu wyposażone są w aparatownie radioodbiorcze, namierniki radiowe, stacje rozpoznania systemów radiolokacyjnych oraz stację rozpoznania radioliniowego. Szczegółową organizację oraz zasadnicze wyposażenie batalionu przedstawia rys. 2.1.



Rys. 2.1. Batalion rozpoznania radioelektronicznego i jego zasadnicze wyposażenie.

W systemie rozpoznania, z wymienionych sił i środków organizowane są elementy rozpoznania radioelektronicznego do wykonania określonych zadań. Struktura batalionu pozwala na zorganizowanie:

- grupy analizy danych (GAD);

- radiowego centrum rozpoznawczego (RCR);
- posterunku namierzania radiowego (PNR);
- posterunku rozpoznania łączności radioliniowej (PRŁRL);
- posterunku rozpoznania systemów radiolokacyjnych (PRRL).

Grupa analizy danych to etatowy zespół ludzi o przygotowaniu operacyjnym i specjalnym, dokonujący analizy danych zdobytych przez stanowiska rozpoznawcze. Wnioski i oceny z analizy w postaci meldunków GAD przesyła do oddziału rozpoznawczego i WRE sztabu związku operacyjnego. Parametry techniczno-operacyjne rozpoznanych źródeł GAD przekazuje do batalionów zakłóceń radiowych.

Radiowe centrum rozpoznawcze to zespół aparatowni radioodbiorczych z załogami, przeznaczony do poszukiwania, wykrywania i śledzenia pracy źródeł rozpoznania oraz przechwytywania nadawanych korespondencji.

W aparatowniach radioodbiorczych znajdują się stanowiska rozpoznawcze wyposażone w odbiorniki radiowe, urządzenia pomocnicze, rejestrujące i środki łączności zapewniające połączenia wewnątrz RCR.

Jedna z aparatowni RCR przeznaczona jest do kierowania rozpoznaniem radiowym. Zainstalowane w niej urządzenia zapewniają bezpośrednią łączność pomiędzy aparatowniami radioodbiorczymi i posterunkami namierzania.

Posterunek namierzania radiowego to radionamiernik z załogą przeznaczony do określania kierunku (azymutu) na pracujące źródło rozpoznania. Kilka posterunków namierzania radiowego rozmieszczonych w określonych odległościach od siebie, tworzy sieć namierzania radiowego.

Posterunek rozpoznania łączności radioliniowej to stacja rozpoznania radioliniowego z załogą, przeznaczona do poszukiwania, wykrywania, śledzenia i ustalania kierunku na rozpoznawane źródło oraz przechwytywanie nadawanych korespondencji.

Posterunek rozpoznania systemów radiolokacyjnych będący poza sferą zainteresowania rozprawy, nie będzie charakteryzowany.

Ugrupowanie sił i środków batalionu rozpoznania radioelektronicznego, jako jeden z zasadniczych czynników decydujących o wykonaniu stojących przed nimi zadań, powinno zapewnić:

- możliwość rozpoznania przeciwnika na głębokość wynikającą z potrzeb związku operacyjnego, na korzyść którego jest prowadzone;

- możliwość skupienia wysiłku rozpoznania w nakazanym rejonie, obszarze czy kierunku;

- skrytość rozmieszczenia, rozwijania i pracy elementów rozpoznawczych przed obserwacją przeciwnika;

- sprawny i skryty obieg informacji pomiędzy elementami ugrupowania;

- ciągłość procesu rozpoznawczego podczas zmiany położenia elementów rozpoznawczych, w toku prowadzenia działań bojowych.

Aby podołać tym wymaganiom, batalion rozpoznania radioelektronicznego rozwija się z reguły w ugrupowaniu jednorzutowym w dwie linie.

Pierwszą linię batalionu stanowią siły i środki kompanii rozpoznania radioelektronicznego.

Namierniki radiowe tej kompanii (UKF), zazwyczaj rozmieszcza się wspólnie ze stacjami rozpoznania systemów radiolokacyjnych tworząc zespoły rozpoznawcze. Owe zespoły rozpoznawcze rozwija się w odległości 5-10 km od linii styczności wojsk w rejonie głównego wysiłku obrony, bądź 3-5 km na kierunku głównego uderzenia. Odstępy między zespołami - 6-10 km.

Aparatownie radioodbiorcze krrel, rozmieszcza się pojedynczo w rejonach wyżej wymienionych zespołów lub centralnie za środkowym zespołem, tworząc radiowe centrum rozpoznawcze.

Stacja rozpoznania radioliniowego wykorzystywana jest jako ruchomy posterunek rozpoznawczy. Porusza się w odległości 10-20 km od linii styczności wojsk w operacji obronnej, bądź 8-15 km w operacji zaczepnej.

Drugą linię ugrupowania batalionu stanowią siły i środki kompanii rozpoznania radiowego, grupa analizy danych, stanowisko dowodzenia batalionu i pododdziały zabezpieczenia logistycznego.

Elementy rozpoznania radioelektronicznego drugiej linii ugrupowania bojowego batalionu rozmieszcza się:

Radiowe centrum rozpoznawcze - z zasady przy stanowisku dowodzenia batalionu, w odległości do 500 metrów, aparatownie radioodbiorcze RCR - w

odległości do 150 metrów od aparatowni kierowania rozpoznaniem radiowym (uwarunkowane długością kabli połączeniowych).

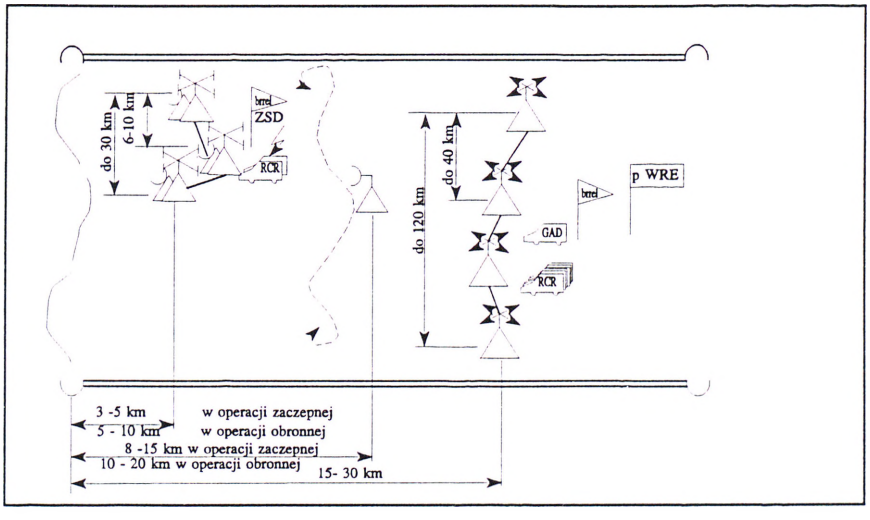
W warunkach, gdy działania bojowe są prowadzone na kilku samodzielnych kierunkach, gdy część źródeł rozpoznania o zasadniczym znaczeniu nie jest słyszana lub jest bardzo słabo słyszana w rejonie rozwinięcia RCR, organizuje się pomocnicze lub wysunięte elementy ugrupowania RCR, wykorzystując ich organiczne środki.

Grupę analizy danych, oficerów i personel pomocniczy wraz z niezbędnym wyposażeniem, rozmieszcza się w rejonie RCR, w bezpośredniej styczności lub w pobliżu aparatowni kierowania rozpoznaniem.

Posterunki namierzania radiowego (KF) rozmieszcza się wzdłuż linii styczności wojsk w odległości 30-50 km w operacji obronnej i 15-30 km w operacji zaczepnej. Odstępy między kolejnymi posterunkami do 40 km.

W procesie rozpoznania, w celu dokonywania szybkiej selekcji nowo wykrytych źródeł promieniowania według sektora zainteresowania, organizuje się posterunek (namiernik) kierunkowy. Ową funkcję praktycznie najczęściej pełni jeden z posterunków pracujących w sieci namierzania, rozwinięty najbliżej RCR.

Przykładowe ugrupowanie sił i środków batalionu rozpoznania radioelektronicznego przedstawia rys. 2.2.



Rys. 2.2. Ugrupowanie sił i środków batalionu rozpoznania radioelektronicznego.

Zaprezentowane zasady i normy rozmieszczenia sił i środków batalionu są wynikiem kompromisu pomiędzy zapewnieniem żywotności elementów rozpoznania, ograniczonymi możliwościami obiegu informacji a więc i kierowania procesem rozpoznania (ograniczenia wynikają z możliwości posiadanych środków łączności), a dostępnością energetyczną do pracujących źródeł rozpoznania.

Innym czynnikiem, decydującym o dostępności energetycznej i mającym istotny wpływ na ugrupowanie batalionu, jest wybór rejonów rozwinięcia sił i środków.

Rejony takie powinny zapewnić:

- możliwość swobodnego manewru (dojazdu, wyjazdu);
- miejsce dla rozśrodkowanego rozwinięcia urządzeń rozpoznawczych i łączności oraz rozmieszczenia ludzi;
- naturalne warunki maskowania i zabezpieczenia przed środkami rażenia;
- odpowiednie możliwości do wykonania schronów i ukryć dla obsług;
- możliwość organizowania ochrony i obrony.

Ponadto przy wyborze rejonów rozwinięcia należy uwzględniać ukształtowanie i pokrycie terenu, mające wpływ na rozprzestrzenianie się fal elektromagnetycznych, a więc i na warunki odbioru. W celu zwiększenia horyzontu radiowego, szczególnie istotnego dla zakresu UKF, elementy rozpoznania należy rozmieszczać na wzniesieniach, fałdach terenowych. Na obszarze równinnym należy unikać: wysokich masywów leśnych, aglomeracji miejskich o wysokiej zabudowie, innych przeszkód naturalnych na kierunku rozpoznania.

Unikać należy również sąsiedztwa urządzeń i konstrukcji oddziałujących na warunki pracy środków rozpoznawczych. Niepożądane jest więc sąsiedztwo: dużych zakładów przemysłowych, węzłów komunikacyjnych, linii energetycznych itp.

Rozwinięcia sił i środków z uwzględnieniem obowiązujących zasad, nie jest jedynym warunkiem prowadzenia skutecznego rozpoznania radiowego.

Chcąc dokonać oceny funkcjonującej struktury rozpoznania radiowego związku operacyjnego, sposobem analogicznym do przeprowadzonej analizy systemów dowodzenia przeciwnika, oprócz ugrupowania sił i środków, odpowiadającego niejako infrastrukturze systemu, należy uwzględnić wielkości mierzalne przestrzeni radioelektronicznej.

Należy więc ocenić możliwości batalionu w zakresie:

- częstotliwości;
- dostępności energetycznej;
- rodzajów emisji radiowych;
- norm czasowych.

Środki, którymi obecnie dysponuje brrel, dają możliwość prowadzenia rozpoznania w zakresie:

- krótkofalowym od 1,5 do 25,5 MHz;
- ultrakrótkofalowym od 20 do 100 MHz.

Stacja rozpoznania łączności radioliniowej (R-344) od 650 MHz do 2,5 GHz.

Możliwości pojedynczego stanowiska w zakresie poszukiwania i wykrywania w poszczególnych podzakresach częstotliwości przedstawia tabela 2.1.

Stacja rozpoznania łączności radioliniowej może rozpoznać w ciągu godziny 1 relację i przechwytywać z niej dane przekazywane w 4-8 kanałach.

Tak więc pod względem pokrycia widma częstotliwości środki brrel pokrywają pasmo krótkofalowe i zakres ultrakrótkofalowy wojsk lądowych w radiokomunikacji radiowej oraz zakres decymetrowy (0,46-0,12 m) w radiokomunikacji radioliniowej horyzontalnej.

W radiokomunikacji radioliniowej troposferycznej oraz radiokomunikacji satelitarnej brak jest środków.

Konfrontując powyższe z warunkami dyktowanymi sytuacją radioelektroniczną przeciwnika (omówioną w analizie systemów dowodzenia) wynika, że procentowe pokrycie potrzeb w zakresie częstotliwości kształtuje się następująco:

- zakres KF - 100 %;
- zakres UKF woj.ląd. - 100 %;
- zakres r/lin.hor. - 30 %;
- zakres r/lin.troposf. - 0 %;
- zakres satelit. - 0 %;

- ŚREDNIA ARYTM. - 46 %.

Oznacza to, że przy tak optymistycznych założeniach, z przyczyn dostosowania do pracy w pożądanym paśmie częstotliwości, środki batalionu mają

Tabela 2.1.

Podstawowe wskaźniki do ustalenia możliwości rozpoznawczych pojedynczego stanowiska w zakresie poszukiwania i wykrywania

Zakres częstotliwości (w MHz)	Rodzaj emisji	Szerokość pasma poszukiwania i wykrywania (w kHz)	Szybkość przestrajania (w kHz)	Możliwa liczba wykrytych relacji w zadanym paśmie częstotliwości[1]
1,5-4,5	foniczna dalekopisowa	500 500	180-200 80-100	do 20 do 6
4,5-6,0	foniczna dalekopisowa	1 000 1 000	180-200 80-100	do 18 do 5
6,0-12,0	foniczna dalekopisowa	5 000 5 000	200-500 200-300	do 17 do 4
12,0-20,0	foniczna dalekopisowa	10 000 10 000	500-800 300-500	
20.0-100	foniczna	20 000	600-800	do 12

dostęp do 46 % przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika. Pozostałe 54 % tej przestrzeni jest dla batalionu niedostępne.

Uwzględnić tu należy również fakt, że zasadniczy dla rozpoznania radioelektronicznego szczebla operacyjnego zakres krótkofalowy, jest coraz rzadziej wykorzystywany w systemach łączności.

---

[1] Liczbę ustalono ze wzoru na prawdopodobieństwo wykrycia emisji:

$$P(W) = \sum_{k=1}^{n} (-1)^{k+1} \binom{n}{k} \left[\frac{T}{(\Delta f (\frac{1}{\gamma} + t n_D)} \right]^k$$

gdzie:
n - liczba powtórzeń emisji na tej samej częstotliwości;
T - czas trwania emisji;
t - czas podejmowania decyzji;
Δf - szybkość poszukiwania pasma częstotliwości;
γ - szybkość przestrojenia urządzenia;
n_D - gęstość zajętości pasma.

Fakt ten potwierdzają przeprowadzone badania pracy operacyjnej 2 Pułku Rozpoznania Radioelektronicznego. Wykazały one stałą tendencję ograniczania oraz zawieszania pracy sieci radiowych zakresu krótkofalowego, systemów alarmowania i powiadamiania narodowych i połączonych sił zbrojnych.

Tylko w 1992 roku w I Obszarze Operacyjnego Zainteresowania zawieszono pracę sieci radiowych alarmowania i powiadamiania:

- dowództwa 59 brygady ZAS na obszar PGA "CEMETERY C" i na obszar CGA "CEMETERY D" z dniem 01.04.1992 r.;

- SL Stanów Zjednoczonych w Europie "CEMETERY A" z dniem 28.02.1992r.;

- dowództwa SZ Stanów Zjednoczonych w Europie "GANG BUSTER" z dniem 10.12.1992 r.;

- centrum powiadamiania sił uderzeniowych PSZ NATO w Europie "HZ-001" z dniem 15.12.1992 r.;

- Sztabu Naczelnego Dowódcy PSZ NATO w Europie "HZ-208" z dniem 29.12.1992 r.

Ponadto w zasadniczy sposób ograniczono czasokres pracy sieci radiowych "YZ-001", "G23B" i "G220" systemu alarmowania i powiadamiania SZ RFN. Praca tych sieci ograniczała się do sporadycznych kontroli zajętości przydzielonych częstotliwości.

Ocena fizycznych możliwości środków brrel w zakresie energetycznego dostepu do przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika możliwa jest po dokonaniu pewnych założeń.

W systemach łączności dowodzenia, szczególnie niski stopień wykorzystania krótkofalowej łączności radiowej obserwowano na szczeblach:

- sztaby TDW - sztaby GA; oraz sztaby GA - sztaby podległych korpusów armijnych.

W II Obszarze Operacyjnego Zainteresowania w relacjach alarmowania i powiadamiania stwierdza się zmniejszenie intensywności przekazywania zarządzeń alarmowych. Od czerwca 1992 roku nie stwierdzono pracy relacji alarmowania i powiadamiania Płn. GW.

Badania potwierdzają, że również w SZ WNP oraz narodowych SZ Ukrainy i Białorusi, podstawowym rodzajem łączności wykorzystywanym w procesie dowodzenia wojskami w okresie pokoju, jest łączność przewodowa i radioliniowa, natomiast krótkofalowa łączność radiowa, wykorzystywana jest doraźnie w czasie prowadzenia ćwiczeń i szkoleń wojsk, treningów łączności oraz dla zabezpieczenia przegrupowania wojsk.

Przyjęte założenia to:

- obszar zainteresowania sytuacją radioelektroniczną przeciwnika obejmuje pas operacji o głębokości 100 km od rubieży styczności wojsk i szerokości 100 km;
- wyniesienie anten pracujących źródeł rozpoznania średnio 10 metrów, urządzeń rozpoznawczych 15 metrów;
- nachylenie dofrontowe relacji radiowych (osi radioliniowych) do 45°;
- oddalenie urządzeń rozpoznawczych od rubieży styczności wojsk, nie mniejsze niż 5 km.

Przy takich założeniach, możliwości środków batalionu w zakresie energetycznego dostępu do przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika, kształtują się następująco:

- źródła radiowe zakresu KF - 100 % przestrzeni;
- źródła radiowe zakresu UKF - 20 % przestrzeni;
- źródła radioliniowe horyzont. - 5 % przestrzeni;
- źródła radioliniowe troposferycz. - 0 % przestrzeni;
- źródła radiokomunikacji satelit. - 0 % przestrzeni;

ŚREDNIA ARYTMETYCZNA - 25 % przestrzeni.

Uwzględniając więc jedynie właściwości rozprzestrzeniania się energii elektromagnetycznej i wyposażenie batalionu, dostęp energetyczny do przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika, oscyluje w granicach 25 % tej przestrzeni.

Możliwosci odbioru emisji radiowych

Niezwykle istotne dla prowadzenia skutecznego rozpoznania radiowego, są możliwości batalionu w zakresie odbioru poszczególnych rodzajów emisji.

Środki batalionu pozwalają prowadzić rozpoznanie w poszczególnych podzakresach częstotliwości następujących emisji radiowych i radioliniowych:

- w zakresie KF - telefonicznych i telegraficznych, dwu i jednowstęgowych, z modulacją (manipulacją) amplitudy, z pełną bądź zredukowaną falą nośną;

- w zakresie UKF wojsk lądowych - telefonicznych z modulacją amplitudy, dwu i jednowstęgowych, z pełną i zredukowaną falą nośną, telefonicznych z modulacją częstotliwości;

- w zakresie decymetrowym radiolinii horyzontalnych - telefonicznych i telegraficznych zmodulowanych częstotliwościowo, z czasowym i częstotliwościowym zwielokrotnieniem kanałów.

Z powyższego wynika, że środki batalionu umożliwiają prowadzenie rozpoznania radioelektronicznego analogowych emisji wąskopasmowych z modulacją (manipulacją) amplitudy i częstotliwości. Natomiast coraz powszechniej stosowane w nowoczesnych systemach telekomunikacyjnych emisje cyfrowe z widmem rozproszonym, stanowią barierę uniemożliwiającą nie tylko prowadzenie skutecznego rozpoznania, ale nawet stwierdzenie samego faktu ich emisji. W skrajnym przypadku, gdyby przeciwnik korzystał z środków łączności emitujących tylko widmo rozproszone, jego przestrzeń radioelektroniczna byłaby dla środków batalionu całkowicie niedostępna.

Obawy te potwierdzają przeprowadzone badania. Wynika z nich, że w 1992 roku, w Siłach Lądowych Stanów Zjednoczonych w Europie, nie stwierdzono uruchomienia łączności radiowej zarówno na szczeblu sztab Sił Lądowych - korpus armijny, jak również korpus armijny - dywizja. Ocenia się, że zanik tej łączności spowodowany został wprowadzeniem i wykorzystywaniem nowych typów urządzeń.

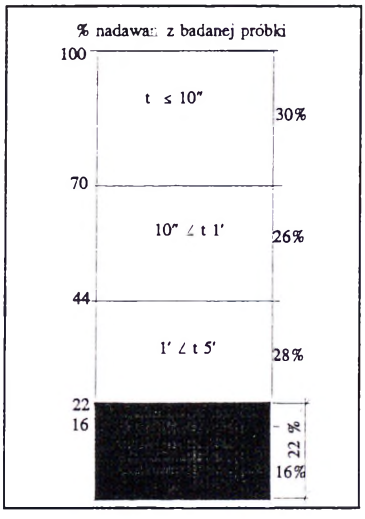
Ocena możliwosci czasowych batalionu, wiąże się z określeniem czasu niezbędnego na wykonanie stojących przed nim zadań.

Owe zadania to: poszukiwanie i wykrywanie, przechwytywanie, śledzenie pracy, ustalanie parametrów technicznych i miejsce rozmieszczenia źródeł rozpoznania oraz analiza zdobytych informacji, przekazanie wniosków zainteresowanym dowództwom i sztabom, a parametry techniczne sygnałów jednostkom zakłóceń.

Możliwości batalionu, bez uwzględniania załóg i osób funkcyjnych, determinuje: liczba stanowisk rozpoznawczych, właściwości techniczne sprzętu rozpoznawczego i środków łączności, warunki klimatyczno-terenowe, pora roku i doby, oddziaływanie przeciwnika.

Niebagatelny wpływ na możliwości batalionu ma czas aktywnej pracy obiektów rozpoznania. Przeprowadzone badania czasów trwania seansów łączności wykazały, że na 5000 przechwytywanych nadawań tylko 16 % trwało 5 minut i więcej. Pozostałe 84 % realizowanych było w czasie krótszym niż 5 minut, z czego: 28 % mieściło się w przedziale od 5 do 1 minuty, 26 % od 1 minuty do 10 sekund i 30 % trwało mniej niż 10 sekund.

Pomijając wszystkie uwarunkowania determinujące możliwości czasowe batalionu, a przyjmując tylko najbardziej optymistyczne czasy instrukcyjne identyfikacji i namierzania źródła (od 4 do 6 minut) wykazać można, że tylko czas trwania nadawań ogranicza możliwości do około 22 % ogólnej ich liczby. Rysunek 2.3. przedstawia to zestawienie w formie graficznej.



Rys. 2.3. Procentowy udział czasu trwania jednorazowych nadawań we współczesnych systemach radiokomunikacyjnych. Pole zakreskowane ilu struje możliwości batalionu w zakresie rozpoznania.

Równie niekorzystnie rzutuje na ocenę możliwości czasowych batalionu brak automatyzacji (tak charakterystycznej dla nowoczesnych systemów rozpoznania) i to zarówno przy rozwijaniu i zwijaniu elementów, jak i w samym procesie

rozpoznania i obiegu informacji.

Instrukcyjne normy rozwijania podstawowych elementów rozpoznania w działalności bojowo-rozpoznawczej ilustruje tabela 2.2.

Tabela 2.2.

Normy czasowe rozwijania elementów rozpoznania radioelektronicznego.

Lp.	Element rozpoznania radioelektronicznego	Czas	Uwagi
1	RCR KF	30'	W trudnych warunkach terenowych i atmosferycznych normy zwiększa się w granicach 25-50% z jedną anteną
2	RCR UKF wojsk lądowych	20'	
3	Posterunek namierzania radiowego KF	180'	
4	Posterunek namierzania radiowego UKF	20'	
5	Posterunek rozpoznania łączności radioliniowej	75'	

Z owego zestawienia wynika, że czas gotowości elementów do prowadzenia rozpoznania i to w podstawowym zakresie KF, jest nie mniejszy niż 180 minut i daleko odbiega od potrzeb współczesnego pola walki.

Jakkolwiek krytyczna ocena możliwości batalionu w zakresie prowadzenia rozpoznania krótkofalowego i tendencje we współczesnych systemach łączności wskazywałyby na schyłkowy charakter tego zakresu, odległy jest jeszcze dzień, gdy faktycznie straci on znaczenie.

Przeprowadzone badania wykazały bowiem, że w 1992 roku w I Obszarze Operacyjnego Zainteresowania w 2 Pułku Rozpoznania Radioelektronicznego rozpoznano 2152 relacji radiowych zakresu krótkofalowego. Rozkład wykorzystania pasma kształtował się następująco:

2,1-3,3 MHz pracowało 8,8 % relacji;

4,3-5,7 MHz pracowało 33,6 % relacji;

6,5-7,0 MHz pracowało 18,9 % relacji;

7,4-8,1 MHz pracowało 19,6 % relacji.

Rozkład wykorzystania pasma przez SZ poszczególnych państw I OOZ:

SZ USA - pasmo 4,7-5,8 MHz;
7,3-8,1 MHz;
SZ RFN - pasmo 2,2-3,5 MHz;
4,5-5,8 MHz;
7,4-8,0 MHz;
SZ Francji - pasmo 2,0-8,1 MHz;
SZ W.Brytanii - pasmo 2,3-5,8 MHz;
7,3-8,0 MHz;
SZ Belgii - pasmo 4,0-5,6 MHz;
6,6-6,9 MHz;
7,5-8,0 MHz.

Relacje PSZ NATO wykorzystywały w swojej pracy najczęściej zakresy częstotliwości:

2,2-2,5 MHz;
4,5-5,8 MHz;
7,3-8,0 MHz;
9,0-9,5 MHz;
10,0-10,7 MHz.

Nie stwierdzono natomiast pracy w zakresach:

6,0-6,5 MHz;
7,0-7,2 MHz.

Ponadto należy stwierdzić sporadyczne wykorzystywanie zakresu powyżej 10,0 MHz.

W analogicznym okresie (1992 r.) w II Obszarze Operacyjnego Zainteresowania rozpoznano 4240 relacji z czego na terytorium:

Rosja - 1334 co stanowi 31,46 %;
Płn.Zg.W. - 561 co stanowi 13,23 %;
Ukraina - 1038 co stanowi 24,48 %;
Białoruś - 696 co stanowi 16,41 %;
Zach.Gr.W.- 616 co stanowi 14,52 %.

Najbardziej aktywnymi odcinkami pasma były:

2,0-5,9 MHz - gdzie pracowało 50 % relacji;
6,2-8,5 MHz - gdzie pracowało 30 % relacji;
9,5-11,0 MHz - gdzie pracowało 10 % relacji.

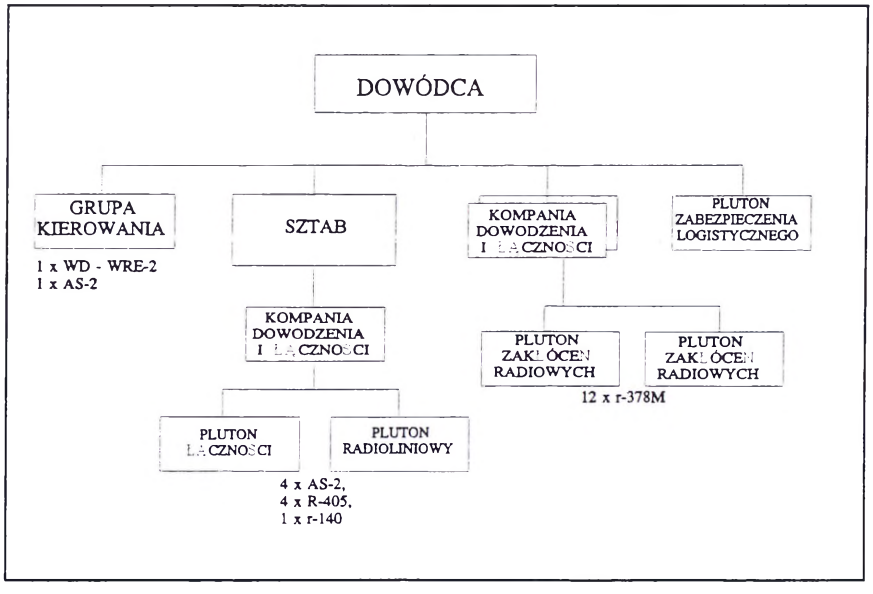
Powyższe zestawienia potwierdzają tezę o wykorzystaniu zakresu krótkofalowego.

2.2. MOŻLIWOŚCI ZAKŁÓCANIA RADIOWEGO ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Batalion zakłóceń radiowych składa się z dowództwa i sztabu batalionu, grupy kierowania, kompanii dowodzenia i łączności, dwóch kompanii zakłóceń radiowych oraz pododdziału zabezpieczenia logistycznego.

Zasadnicze wyposażenie batalionu stanowi: dwanaście stacji zakłóceń radiowych typu R-378(M), cztery aparatownie sterowania zakłóceniami i cztery stacje radioliniowe R-405, radiostacja R-140, wóz dowodzenia WRE-2, autobus sztabowy AS-2.

Strukturę organizacyjną oraz zasadnicze wyposażenie batalionu przedstawia rys. 2.4.



Rys. 2.4. Organizacja batalionu zakłóceń radiowych.

Z wymienionych sił i środków tworzy się zazwyczaj dwa zespoły zakłóceń radiowych.

Taki zespół to stacje zakłóceń radiowych z załogami oraz środki łączności umożliwiające kierowanie pracą zespołu.

Ugrupowanie sił i środków batalionu zakłóceń radiowych powinno zapewnić optymalne rozmieszczenie i manewr środków w stosunku do obiektów nieprzyjaciela, własnych środków łączności, umożliwić realizację postawionych zadań.

Stacje zakłócające rozwija się zespołami w pasie działania jednego lub dwóch związków taktycznych, w odległości 8-15 km od linii styczności wojsk, to znaczy na pozycjach bojowych pomiędzy oddziałami I i II rzutu. Poszczególne plutony zakłóceń radiowych ugrupowuje się w linię zachowując odstępy między nimi 8-12 km.

Stacje zakłóceń w plutonach rozmieszcza się co 0,5-1 km. Odległość poszczególnych plutonów od centrum sterowania zakłóceniami limituje zasięg aparatury zdalnego sterowania i wynosi nie mniej niż 2-3 km, ale nie więcej niż 15 km. Przy rozmieszczaniu stacji należy uwzględniać położenie innych elementów ugrupowania bojowego i systemu dowodzenia, bowiem przy mocy około 1,0 kilowata każdej ze stacji, możliwy jest wpływ nawet kolejnych harmonicznych na własne bądź rozpoznawane relacje radiowe.

Stanowisko dowodzenia z grupą kierowania zakłóceniami rozmieszcza się w rejonie stanowiska dowodzenia pułku i batalionu rozpoznania radioelektronicznego, zapewniając tym samym szybki obieg informacji, sprawne kierowanie i kontrolę efektów zakłóceń. Wybór rejonów rozwinięcia batalionu zakłóceń radiowych odpowiadać musi kryteriom analogicznym jak przy wyborze rejonów dla batalionu rozpoznania radioelektronicznego.

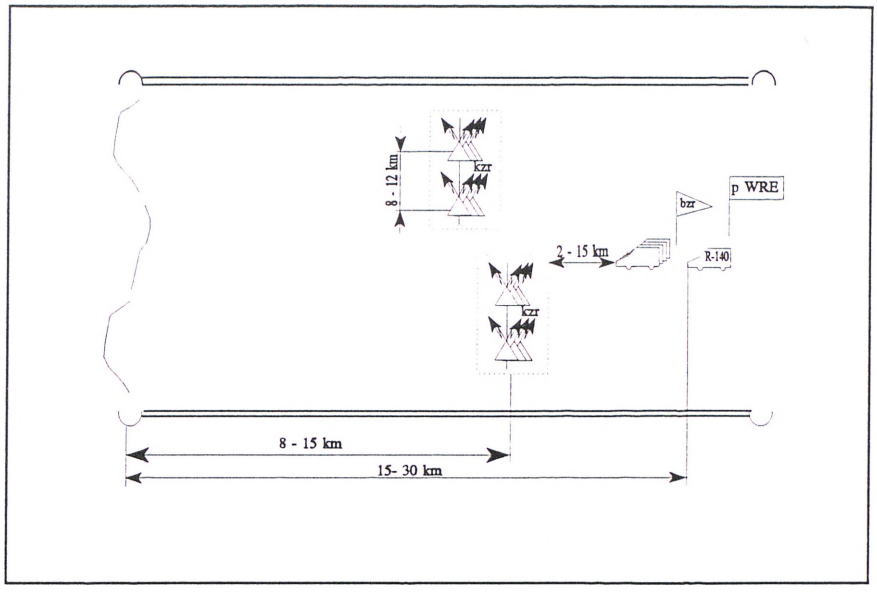
Powinny więc zapewniać:

- możliwość swobodnego manewru;
- miejsce dla rozśrodkowanego rozwinięcia urządzeń;
- naturalne warunki maskowania stacji zakłócających i środków łączności;
- odpowiednie możliwości zabezpieczenia sprzętu przed środkami rażenia oraz wykonania ukryć i schronów dla obsług;
- możliwość organizowania ochrony i obrony.

Przykładowe rozmieszczenie sił i środków batalionu zakłóceń radiowych ilustruje rys. 2.5.

Dowódca batalionu dowodzi batalionem wykorzystując środki łączności zamontowane w aparatowniach zdalnego sterowania.

Manewru batalionem dokonywać można całością sił lub plutonami w zależności od sytuacji operacyjno-taktycznej i radioelektronicznej.



Rys. 2.5. Rozmieszczenie sił i środków bzr.

Możliwości obezwładniania radioelektronicznego batalionu określone są:

- ilością relacji krótkofalowych jaką posiadanym sprzętem można zakłócić jednocześnie;

- ilością sieci (kierunków) radiowych, w których można prowadzić dywersję radiową;

- technicznymi warunkami obezwładniania (zakresem częstotliwości, rodzajami pracy, szerokością zakłócającego widma, mocą emisji, normami czasowymi);

- głębokością skutecznych zakłóceń.

Ilość relacji radiowych KF jaką batalion może obezwładniać jednocześnie przy posiadanym sprzęcie jest następująca:

- 12 relacji radiowych KF w sposób ciągły lub 24 relacje metodą manewrową (przydziela się wtedy dwie częstotliwości na jeden nadajnik);

- jedną relację w której może być prowadzona dywersja radiowa.

Zasięg obezwładniania radioelektronicznego uwarunkowany jest wieloma czynnikami (odległość, moc radiostacji zakłócanych, kierunkowość i wyniesienie anten, ukształtowanie i pokrycie terenu itp.) i w stosunku do każdej relacji będzie inny. Do planowania operacyjnego przyjmuje się zasięg średni operacyjny. Wynosi on dla:

- środków obezwładniania radiowego KF - 60-70 km;

- prowadzenia dywersji radiowej KF - 150 km.

Oceną możliwości technicznych batalionu zakłóceń radiowych objęte będą wielkości mierzalne przestrzeni radioelektronicznej.

Zakres czestotliwosci.

Będące w wyposażeniu batalionu stacje R-378M, umożliwiają prowadzenie zakłóceń wąskopasmowych emisji radiowych w zakresie częstotliwości od 1,5 do 25,5 MHz. Pokrywają więc zakres krótkofalowy.

Przyjmując kryteria identyczne jak przy ocenie brrl-u, zakresy: ultrakrótkofalowy wojsk lądowych, radioliniowy horyzontalny i troposferyczny oraz wykorzystywany w łączności satelitarnej, są dla batalionu zakłóceń radiowych - niedostępne.

Dokonując zestawienia:

- zakres KF - 100 %
- zakres UKF woj.ląd. - 0 % [1]
- zakres r/lin. horyz. - 0 %
- zakres r/lin. troposf. - 0 %
- zakres satelitarny - 0 %

ŚREDNIA ARYTMETYCZNA - 20 %

Wynika, że batalion zakłóceń radiowych ma dostęp tylko do 20 % przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika.

Oznacza to, że pozostałe 80 % tej przestrzeni jest niedostępne dla energii zakłócającej batalionu, ze względu na brak pokrycia w zakresie częstotliwości.

Do oceny fizycznych możliwosci stacji batalionu zakłóceń radiowych w zakresie dostepu energii zaklocającej do przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika, przyjęto podobne założenia co przy ocenie brrel to znaczy:

- obszar zainteresowania sytuacją radioelektroniczną przeciwnika obejmuje pas operacji o głębokości 100 km od rubieży styczności wojsk i szerokości 100 km;

- wyniesienie anten stacji zakłócających nie mniejsze niż 5 metrów, odbiorników zakłócanych nie mniejsze niż 4 metry;

---

[1] Bez uwzględnienia nadajników zakłócających jednorazowego użytku.

- oddalenie stacji zakłócających od rubieży styczności wojsk 8-15 km.

Przy tych założeniach stacje zakłócające umożliwiają zakłócanie wąskopasmowych relacji radiowych KF na 45-62 % obszaru zainteresowania na fali przyziemnej i 100 % obszaru na fali odbitej.

Do prowadzenia zakłóceń w innych niż krótkofalowy zakresach częstotliwości, batalion nie posiada środków.

Możliwości zakłóceń poszczególnych rodzajów emisji radiowych.

Środki batalionu pozwalają na prowadzenie zakłóceń wąskopasmowych emisji radiowych. Są to emisje telegraficzne z manipulacją amplitudy i częstotliwości, emisje telefoniczne z modulacją amplitudy, jedno i dwuwstęgowe, z pełną oraz zredukowane falą nośną. Telefoniczne z modulacją częstotliwości stosowane w wyższym zakresie pasma.

Ponadto umożliwiają zakłócanie emisji fototelegraficznych, tonalnych, zwielokrotnionych częstotliwościowo i czasowo oraz ich odmian złożonych.

Nie ma natomiast możliwości prowadzenia zakłóceń emisji radiowych z widmem rozproszonym. Ową barierę dla energii zakłócającej stanowi z jednej strony bilans energetyczny, uniemożliwiający pokrycie zakłóceniami całych pasm częstotliwości, z drugiej strony brak możliwości śledzenia emisji i podążania za nią z energią zakłócającą.

Ocena możliwości czasowych batalionu wiąże się z czasem przygotowania do pracy bojowej oraz bezwładnością urządzeń w stosunku do zmieniającej się sytuacji radioelektronicznej przeciwnika.

Przygotowanie stacji zakłóceń do pracy (z rozwinięciem całego systemu antenowego) wymaga w zależności od warunków od 50 do 65 minut. Przygotowanie do pracy tylko z anteną prętową (promieniującą dookulnie) wymaga około 10 minut. Na przygotowanie całego batalionu do pracy bojowej potrzeba od 70 do 90 minut. Pomimo, że są to znaczące przedziały czasu, nie są one szczególnie krytyczne dla przygotowania i prowadzenia operacji.

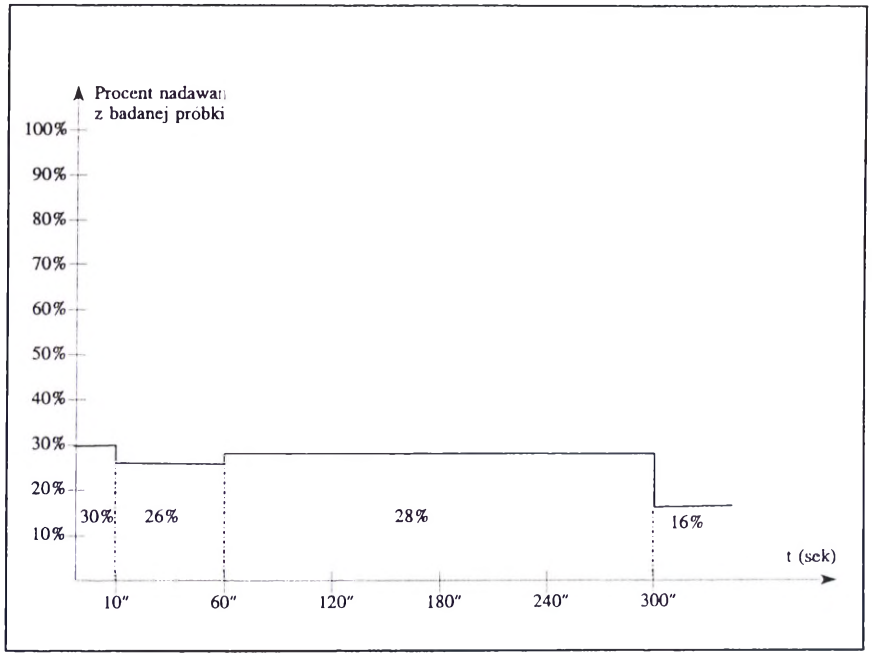
Krytyczny jest natomiast czas reakcji urządzeń na zmieniającą się sytuację radioelektroniczną.

Minimalny czas przestrojenia stacji zakłóceń wynosi 10 sekund, co nie stanowi problemu pomimo tego, że 30 % nadawań z badanej pięciotysięcznej próbki trwało

krócej niż 10 sekund, czyli bezwładność samych stacji sprawia, że owe 30 % nadawań wąskopasmowych nie mogłoby być zakłócane. Jednak prawdziwy problem stanowi bezwładność spowodowana czasem wykrywania i identyfikacji relacji przeciwnika. Czas ten jest nie krótszy niż 6 minut, co zostało wykazane przy ocenie batalionu rozpoznania radiowego. Wyniki badań wykazują, że w pierwszym i drugim obszarze operacyjnego zainteresowania, jedynie 16 % nadawań jednorazowych, trwało 5 i więcej minut.

Gdyby założyć, że na współczesnym polu walki czas trwania jednorazowych nadawań byłby zbliżony do badanej próbki, to bezwładność systemu rozpoznania i zakłóceń radiowych KF, uniemożliwiałaby zakłócanie aż 84 % tych relacji.

Procentowy udział czasu trwania jednorazowych nadawań w badanej próbce ilustruje rys. 2.6.



Rys. 2.6. Wykres czasu trwania jednorazowych nadawań we współczesnych systemach radiokomunikacji krótkofalowej

2.3. WNIOSKI

Przeprowadzona ocena środków walki radioelektronicznej szczebla operacyjnego wykazała, że do prowadzenia rozpoznania radiowego jest obecnie przewidzianych:

- 6 aparatowni rozpoznania radiowego KF;
- 2 aparatownie rozpoznania radiowego UKF;
- 1 aparatownia rozpoznania relacji radioliniowych;
- 4 namierniki radiowe KF.

Do prowadzenia zakłóceń radiowych:

- 12 stacji zakłóceń radiowych KF;
- do 300 kompletów nadajników zakłócających jednorazowego użytku zakresu UKF.

Potencjał ten pozwala na zorganizowanie:

- 24 stnowisk rozpoznania radiowego KF;
- 8 stanowisk rozpoznania radiowego UKF;
- 2 stanowiska rozpoznania relacji radioliniowych;
- jednej/dwóch baz namierzania radiowego KF;
- czterech zespołów zakłóceń radiowych KF;
- 300-krotnego obezwładniania na przeciąg 1 godziny łączności ultrakrótkofalowej, na zlokalizowanych obiektach będących w zasięgu artylerii 152 mm.

Oceniane środki, pod względem konstrukcyjnym pozwalają na prowadzenie fragmentarycznej walki w ograniczonej przestrzeni radioelektronicznej potencjalnego przeciwnika.

Na tle współczesnych systemów dowodzenia owe ograniczenia to:

- w procesie rozpoznania - 25 % przestrzeni wykorzystywanej w radiokomunikacji;
- w procesie obezwładniania radioelektronicznego - 20 % przestrzeni.

Bezwładność systemu rozpoznania i zakłóceń KF ogranicza możliwości prowadzenia rozpoznania do 22 % ogólnej liczby nadawań, zakłóceń do 16 % nadawań.

Dopełnieniem oceny jest stan wyeksploatowania środków walki radioelektronicznej. Jego stan w skali całego Wojska Polskiego przedstawia tabela 2.3.

Tabela 2.3.

Stan wyeksploatowania środków walki radioelektronicznej w skali całego Wojska Polskiego

Lp.	Rodzaj sprzętu	Stan ewidencyjny	Przedziały resursu eksploatacyjnego					
			0 - 50 %		51 - 100 %		pow. 100 %	
			szt.	%	szt.	%	szt.	%
1	Aparatownie radiowe KF	95	8	~8	28	~29	59	63
2	Aparatownie radiowe UKF	47	-	-	30	~63	17	37
3	Namierniki radiowe KF	42	12	28	14	33	16	39
4	Namierniki radiowe UKF	58	14	24	27	46	17	30
5	Aparatownie rozpoznania radiolin.	12	-	-	-	-	12	100
6	Stacje zakłóceń radiowych KF	60	1	2	34	57	27	41
7	Stacje zakłóceń radiowych UKF	48	-	-	48	100	-	-
OGÓŁEM		362	35	9	181	47	146	44

Ogółem na 362 środki walki radioelektronicznej będących w uzbrojeniu WP:

- 9 % ma wykorzystany resurs eksploatacyjny do 50 %;
- 47 % ma wykorzystany resurs eksploatacyjny od 50 % do 100 %;
- 44 % ma wykorzystany w ponad 100 % resurs eksploatacyjny, czyli ze względu na przekroczony czas eksploatacji powinno być wycofane z uzbrojenia.

Uogólniając przeprowadzoną ocenę można stwierdzić, że wykazane możliwości mogą być jednocześnie miarą ich wartości bojowej. Przy takiej interpretacji należy jednoznacznie stwierdzić, że wartość bojowa tych środków jest znikoma i w ewentualnych działaniach bojowych ich rola ograniczona będzie do tego, że będą w ogóle użyte.

Tak niska ocena wynika z niedostosowania tych urządzeń do pasywnego i aktywnego oddziaływania na sytuację radioelektroniczną wytwarzaną przez współczesne systemy dowodzenia. Urządzenia te, w zdecydowanej większości wyprodukowane kilkanaście, a niektóre egzemplarze nawet kilkadziesiąt lat temu w

oparciu o jeszcze starsze rozwiązania konstrukcyjne, są nie tylko fizycznie zużyte, ale również wyeksploatowane "moralnie".

Pomimo, że przeprowadzone badania wskazują na coraz szersze wykorzystanie w systemach dowodzenia emisji z widmem rozproszonym, nie tylko na ocenianym szczeblu operacyjnym, ale w całych siłach zbrojnych, brak jest środków pozwalających na podjęcie walki radioelektronicznej z tą grupą urządzeń.

Bardzo niepokojący jest również fakt braku w naszych siłach zbrojnych techniki obrony radioelektronicznej.

Stosowane w tym zakresie substytuty racjonalnych rozwiązań (tabele kodowe, przepisy korespondencji radiowej itp.) są tak mało efektywne, że nie należy oczekiwać zapewnienia przez nie własnym środkom, nawet podstawowych warunków pracy bojowej.

Ponadto na szczeblu operacyjnym, wszystkie urządzenia walki radioelektronicznej dostosowane są do pracy naziemnej. Taka ich lokacja, z racji samych właściwości fizycznych rozprzestrzeniania się energii elektromagnetycznej, w znacznym stopniu ogranicza dostęp do przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika.

Wszystko zatem wskazuje, że i w tej dziedzinie muszą nastąpić decydujące zmiany, których zasadnicze kierunki będą istotą rozważań w trzecim rozdziale niniejszej rozprawy.

3. PODSTAWOWE KOMPONENTY ORAZ UWARUNKOWANIA FUNKCJONALNE I ORGANIZACYJNE MODELU ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Każda współczesna armia, aby mieć możliwość oddziaływania na systemy radioelektroniczne przeciwnika, musi posiadać odpowiednio zorganizowany system walki radioelektronicznej.

Elementem składowym takiego systemu, jest podsystem rozpoznania i zakłóceń radiowych związku operacyjnego, nazywany dalej "modelem"[1].

Komponenty modelu powinny umożliwiać zdobywanie informacji o systemach dowodzenia wojskami i kierowania środkami walki przeciwnika oraz aktywne oddziaływanie na owe systemy energią zakłócającą.

Zdobywanie informacji o systemach dowodzenia wojskami i kierowania środkami walki to proces poszukiwania, wykrywania i przechwytywania emisji elektromagnetycznych, impulsów, sygnałów informacji i wiadomości oraz namierzanie radiowe pracujących urządzeń, środków, obiektów radiowych, ponadto śledzenie, obserwacja i techniczna analiza emisji elektromagnetycznych.

Rozpoznanie radiowe szczebla operacyjnego obejmuje obszar działań związku operacyjnego (grupa armii, armia, korpus) oraz środowiska: lądowe, powietrzne i morskie. Prowadzone jest przez lotnictwo rozpoznawcze, siły morskie oraz przez naziemne stacjonarne i polowe elementy rozpoznania radiowego. Jego głównym celem jest obserwacja ruchów, manewrów i działań wojsk, ocena funkcjonowania obiektów i elementów systemów dowodzenia i kierowania oraz techniczne parametry emisji i sygnałów.

Aktywne oddziaływanie energią zakłócającą w obszarach, wymiarach i środowiskach analogicznych do rozpoznania, jest procesem zmierzającym do zakłócenia obiegu informacji, wprowadzenia do obiegu fałszywych lub zniekształconych jej form, odcięcia dowódców i sztabów przeciwnika od źródeł informacji.

---

[1] Model - przedmiot lub układ przedmiotów (zdarzeń, sytuacji) dostatecznie podobny do układu badanego, ale prostszy i łatwiej dostępny badaniom. Encyklopedia powszechna, PWN Warszawa - 1986 r.

Polega na zakłócaniu urządzeń odbiorczych łączności radiowej, radioliniowej i satelitarnej oraz radiosterowania środkami walki wojsk lądowych, lotnictwa i sił morskich.

Rozpoznanie radiowe powinno być procesem ciągłym zarówno w okresie pokoju, jak i działań operacyjnych, natomiast zakłócanie i dywersję radiową należy prowadzić w trakcie operacji, niespodziewanie, na głównych jej kierunkach oraz decydujących etapach (momentach).

Aby uzyskać wymaganą skuteczność zakłóceń, należy je wykonywać z odpowiednią mocą i gęstością energii w częstotliwości i obszarze działań operacyjnych, obejmujących zasięgiem główne stanowiska dowodzenia i węzły łączności oraz inne ważne obiekty radioelektroniczne dwóch lub trzech szczebli organizacyjnych np. brygadę (pułk) - dywizję - korpus. Konieczne jest ponadto zsynchronizowanie zakłóceń z innymi formami uderzeń (lotnictwa, rakiet i artylerii, zgrupowań powietrzno-lądowych).

3.1. ZASADNICZE WYMAGANIA STAWIANE WSPÓŁCZESNEMU I PERSPEKTYWICZNEMU MODELOWI ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Funkcjonujący model jest wynikiem integracji sił i środków rozpoznania radiowego z siłami i środkami zakłóceń radiowych. Przed integracją działały one obok siebie, podporządkowane różnym komórkom sztabowym związku operacyjnego. Model nazwać można "teoretycznym", ponieważ określone problemy wiążące się z brakiem środków materialnych, nie pozwoliły w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych na praktyczną restrukturyzację sił i środków rozpoznania i zakłóceń radiowych ZO.

Fakt ten, nie ma większego wpływu na dokonaną ocenę, bowiem sama zmiana struktury organizacyjnej czy podległości tych samych sił i środków, nie rzutuje na zasadnicze możliwości modelu.

Owe możliwości, wystarczające w konfrontacji z środkami łączności tej samej generacji, są niewystarczające w stosunku do nowoczesnych systemów dowodzenia, kierowania i łączności.

Co prawda środki rozpoznania i obezwładniania pokrywają zasadnicze zakresy krótkofalowej i ultrakrótkofalowej łączności radiowej wojsk lądowych oraz pasma radiowe wojsk lotniczych, jednak ograniczone są w tych zakresach do wąskopasmowych emisji analogowych. Natomiast praca nowoczesnych środków łączności wykorzystujących cyfrowe emisje rozproszone, pomimo że w tych samych zakresach częstotliwości, odbywa się bez możliwości ich rozpoznania czy zakłócania radioelektronicznego.

Brak możliwości podjęcia skutecznego działania sił i środków rozpoznania i obezwładniania radioelektronicznego, jest wynikiem szeregu niekorzystnych cech funkcjonującego modelu oraz przestarzałych rozwiązań technicznych eksploatowanych urządzeń.

Brak automatyzacji jakichkolwiek funkcji w modelu uzależnia proces rozpoznania i obezwładniania radiowego od czynnika ludzkiego. Poziom wyszkolenia operatorów urządzeń oraz przygotowanie merytoryczne oficerów, chorążych i podoficerów uczestniczących w procesie rozpoznania i obezwładniania radiowego, bezpośrednio rzutuje na efektywność modelu. Ręczna obsługa urządzeń oraz mało wydajny sposób kierowania procesami, powoduje również dużą bezwładność modelu, uniemożliwiającą szybą reakcję na zmieniającą się sytuację radioelektroniczną. Ową bezwładność, w przypadku wojsk lądowych, pogłęba lokacja urządzeń jedynie na pojazdach samochodowych, co znacznie ogranicza dostęp do przestrzeni radioelektronicznej przeciwnika i szybki manewr siłami i środkami.

Niekorzystny jest też w modelu system dowodzenia, kierowania i obiegu informacji rozpoznawczych. Zorganizowany jest bowiem w oparciu o analogowe środki łączności radiowej o małych możliwościach przepustowych, za to bardzo podatnych na rozpoznanie i obezwładnianie radioelektroniczne przeciwnika.

Niekompatybilność środków w zakresie emisji radiowych oraz brak środków rozpoznania i obezwładniania (systemów) urządzeń łączności radioliniowej i satelitarnej dopełnia niekorzystny obraz funkcjonującego modelu.

Przedstawione wnioski i uogólnienia jednoznacznie wykazują braki uniemożliwiające realizację zadań stojących przed siłami i środkami rozpoznania i obezwładniania radiowego związku operacyjnego. Chcąc tym zadaniom podołać należałoby niezwłocznie przystąpić do przebudowy modelu uwzględniając braki w dziedzinach:

- rozpoznania radiowego w skali operacyjnej i taktycznej;
- obróbki i obiegu informacji rozpoznawczych;
- oddziaływania ogniowego i radioelektronicznego na wykryte źródła oraz oceny skutków tego oddziaływania;
- realizacji przedsięwzięć obrony radioelektronicznej.

Chcąc zachować przyjętą koncepcję rozprawy, opis modelu podporządkowany będzie przestrzeni wielowymiarowej.

Pierwszą z istotnych cech mierzalnych jaką należałoby określić w przyszłym modelu jest jego zasięg oddziaływania. Uwzględniając przeciwnika w sile Grupy Armii oraz podział terytorium kraju na cztery okręgi wojskowe, obszar zainteresowania związku operacyjnego szacunkowo można określić na około 50 000 km^2. Objęcie tak rozległej przestrzeni wszystkimi formami oddziaływania, byłoby trudne do rozwiązania zarówno pod względem technicznym, jak i nieuzasadnione ekonomicznie.

Jednak zasadnym byłoby objęcie tego obszaru rozpoznaniem wstępnym. W ramach realizacji tego przedsięwzięcia należałoby dokonać integracji i adaptacji istniejących i opracowanie nowych naziemnych i powietrznych środków rozpoznania, pozwalających wykryć i wstępnie zlokalizować środki promieniujące energię elektromagnetyczną w całym obszarze zainteresowania.

Rozwiązaniem tego problemu może być budowa systemu stałych stacji kontroli emisji, odpowiednio rozmieszczonych na obszarze kraju. Taki system, oprócz zasadniczych przedsięwzięć rozpoznawczych, mógłby realizować zadania kontroli emisji wynikające z postanowień Regulaminu Radiokomunikacyjnego, rozkładając tym samym obciążenia finansowe związane z jego budową i eksploatacją na inne resorty.

Stałe stacje kontroli emisji nie mogą zapewnić realizacji wszystkich zadań sojących przed rozpoznaniem wstępnym, chociażby ze względu na ograniczony i

niezmienny obszar kontroli oraz szczególne zagrożenie w przypadku konfliktu zbrojnego. Tradycyjny ruchomy system rozpoznania może więc pełnić rolę uzupełniającą system stacjonarny w okresie pokoju i zasadniczą w przypadku konfliktu zbrojnego. Może również w przypadku rezygnacji z systemu stacjonarnego, stanowić system podstawowy.

W obu wariantach, rozpoznanie na całą głębokość operacyjną (do 600 km od linii styczności) mogłyby prowadzić stacje zainstalowane na pilotowanych obiektach latających a w przyszłości również na środkach bezpilotowych. Ze względów technicznych i dostępności do przestrzeni elektromagnetycznej, szczególnie atrakcyjne i zasadne byłoby wykorzystanie do tego celu śmigłowców.

Sprawnie funkcjonujące rozpoznanie wstępne dostarczałoby dowódcy i innym zainteresowanym użytkownikom informacje o ogólnej sytuacji operacyjnej i radioelektronicznej w obszarze zainteresowania związku operacyjnego.

Uzupełnieniem rozpoznania wstępnego w proponowanym modelu byłoby rozpoznanie szczegółowe. Rozpoznanie szczegółowe skupiałoby wysiłek rozpoznania w określonym obszarze wskazanym przez rozpoznanie wstępne. Wymagałoby więc adaptacji istniejących i opracowania nowych środków rozpoznania o zdolności rozdzielczej umożliwiającej klasyfikację i precyzyjną lokalizację źródeł wykrytych w rejonach wskazanych przez rozpoznanie wstępne. Koncentrowanie wysiłku rozpoznania w określonym obszarze narzuca wykorzystanie do tego celu ruchomych stacji. Ich liczba byłaby zależna od wielkości i dostępności obszarów objętych rozpoznaniem szczegółowym, liczby rozpoznawanych źródeł oraz ruchliwości stacji i wymaganego czasu reakcji systemu. Dlatego i w tym przypdku, szczególnie użyteczne byłyby śmigłowce z odpowiednią aparaturą na pokładzie.

Jak wynika z analizy systemów dowodzenia, nasycenie obszaru wstępnego rozpoznania środkami łączności może się wahać w granicach od 8 do 12 tysięcy środków, natomiast rejonu rozpoznania szczegółowego, zakładając że będzie to pierwszorzutowa dywizja, w granicach 2,5 do 4 tysięcy.

Problemów związanych z rozpoznaniem tej ilości środków łączności, nie sposób rozwiązać bez automatyzacji modelu.

Automatyzacja rozważana będzie w dalszej części rozdziału.

3.2. WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE PODMIOTU ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Ocena stanu środowiska elektromagnetycznego jest kolejnym, bodaj najważniejszym problemem, który należałoby uwzględnić przy przebudowie modelu. Stan środowiska oraz charakteryzujące je wymiary są tak istotne, bowiem rzutują na wszystkie przedsięwzięcia z zakresu walki radioelektronicznej.

Przeprowadzone badania wykazały, że aparatura rozpoznawcza powinna umożliwiać pomiar podstawowych wielkości charakteryzujących środowisko elektromagnetyczne:

1. Gęstości energii, tj. zależność intensywności (energii, natężenia pola elektromagnetycznego) emisji od czasu przy ustalonych pozostałych zmiennych (częstotliwość, kierunek).

2. Częstotliwości tj. zależność intensywności emisji od częstotliwości przy ustalonych pozostałych zmiennych.

3. Kierunkowości tj. zależność intensywności emisji od kierunku obserwacji przy ustalonych pozostałych zmiennych.

Do tych podstawowych mogą dojść charakterystyki specjalne dotyczące modulacji, struktury sygnałów, polaryzacji.

Charakterystyka gęstości energii jest istotna zarówno w rozpoznaniu wstępnym dla określenia ogólnej sytuacji radioelektronicznej, jak i w rozpoznaniu szczegółowym dla potrzeb klasyfikacji wykrytych źródeł.

Nowoczesny system rozpoznania radiowego powinien radzić sobie z wysokimi gęstościami sygnałów, rozrzutem sygnałów w częstotliwości, szybkimi zmianami częstotliwości (FH), fazy (PH) i czasu (TH). Jak bowiem wykazała analiza systemów dowodzenia, nowoczesne rozwiązania systemów radiowcyh wykorzystują pseudolosową technikę taktowania, co pozwala na łatwe zmiany parametrów sygnału, utrudniając ich analizę i czyniąc tym samym nowoczesne środki radiowe trudnymi do rozpoznania.

W ocenie charakterystyki częstotliwościowej wysiłek badawczy powinien być skupiony na dwóch problemach:

1. Objęcia rozpoznaniem jak najszerszego widma elektromagnetycznego w obecnie wykorzystywanych zakresach częstotliwości.

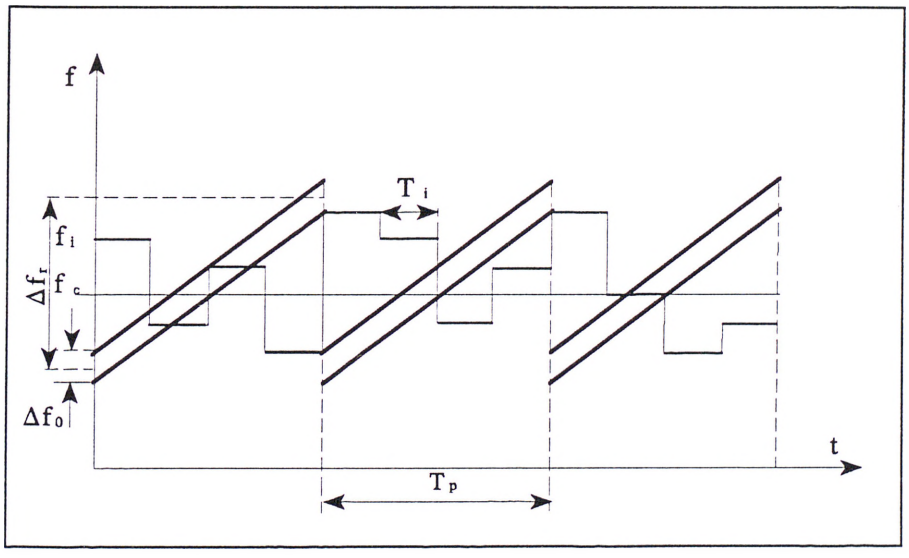
2. Przystosowania modelu do objęcia rozpoznaniem coraz wyższych zakresów częstotliwości widma elektromagnetycznego.

W urządzeniach służących temu celowi stosowne są dwie metody - z poszukiwaniem i bez poszukiwań źródła.

Metoda z poszukiwaniem, kosztem czasu rozpoznania, pozwala na pomiar częstotliwości z dużą dokładnością oraz zapewnia dużą rozróżnialność pomiarów.

Natomiast metoda bez poszukiwania pozwala na określenie częstotliwości źródła w czasie niemal realnym, ale odbywa się to kosztem zmniejszenia dokładności i rozróżnialności pomiarów.

Określanie częstotliwości z poszukiwaniem realizuje się w trybie poszukiwania wolnego, ze średnią prędkością i szybkiego, wykorzystując do tego celu tzw. odbiorniki panoramowe. W odbiornikach panoramowych przeglądu całego roboczego zakresu częstotliwości dokonuje się okresowo w czasie Tp, a zmiany częstotliwości mają postać przebiegu piłokształtnego (rys. 3.1.).



Rys. 3.1. Wykres ilustrujący metodę określania częstotliwości przez przeszuki wanie.

O ile ustalenie częstotliwości nośnej tradycyjnych emisji f_c z ciągłą falą nośną nie stanowi problemu gdyż czas przeszukiwania nie przekracza Tp, o tyle określenie częstotliwości nośnej sygnałów impulsowych f_i (telegraficznych, FH) jest zagadnie-

niem bardziej złożonym. Widać to wyraźnie na wykresie przeszukiwania częstotliwości w funkcji czasu.

Przy przeszukiwaniu wolnym czas przestrajania odbiornika T_{od} jest większy od okresu powtarzania impulsu T_i. Ta metoda jest więc nieprzydatna do prowadzenia rozpoznania emisji impulsowych i nie będzie rozpatrywana.

Poszukiwanie z prędkością średnią najczęściej wykorzystywane w rozpoznaniu radiowym określana jest nierównością

$$T_s > T_{od} > \tau_s$$

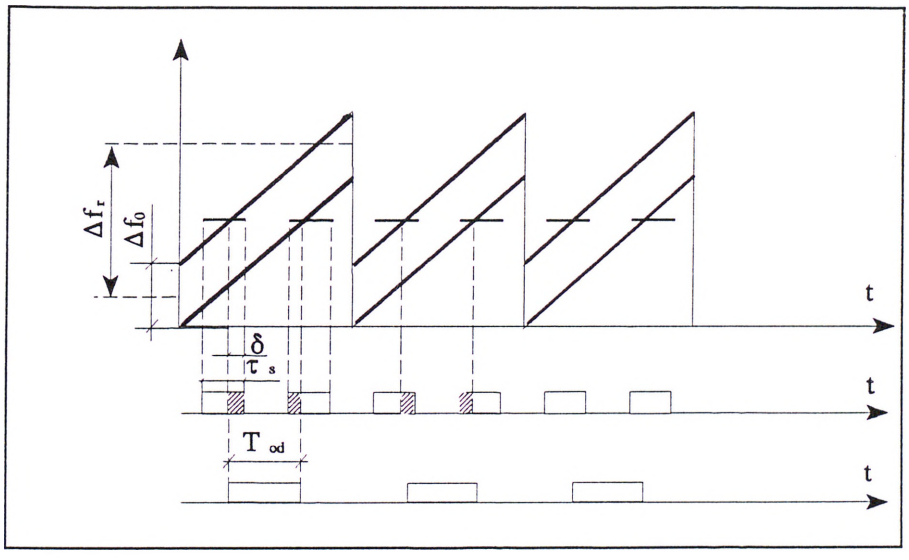
gdzie:

T_s - okres powtarzania sygnałów;

T_{od} - czas przestrajania odbiornika;

τ_s - czas pojedynczego sygnału.

Analizę poszukiwania ze średnią prędkością wygodnie jest przeprowadzić posługując się teorią przypadkowych strumieni impulsowych[1]. W rozpatrywanym przypadku występują dwa strumienie impulsów (rys. 3.2.).



Rys. 3.2. Przebiegi ilustrujące przeszukiwanie ze średnią prędkością.

[1] SEIDLER J.: Teoria kodów. PWN, Warszawa 1965.

Pierwszy (stałoczęstotliwościowy dla uproszczenia rozważań) charakteryzuje wejściowy strumień impulsów rozpoznawanego źródła o czasie trwania τ_s i okresie T_s. Drugi natomiast, gotowość odbiornika do obsługi strumienia sygnałów. Parametrami tego strumienia są: okres przestrajania T_p i czas przestrajania T_{od} o wartość równą szerokości pasma przepuszczania.

Wykrycie następuje w momentach "zazębiania się" δ strumieni. Jeśli czas δ jest wystarczający dla uzyskania wykrycia pewnego, to jednocześnie z wykryciem może być określana częstotliwość rozpoznawanego źródła.

Prawdopodobieństwo "zazębiania się" niezależnych strumieni przez czas δ określa się z zależności:

$$P_z = \frac{\tau_s + T_{od} - 2\delta}{T_s}$$

uwzględniając, że

$$T_{od} = \frac{\Delta f_o}{\gamma} = \frac{\Delta f_o}{\Delta f_r} T_p$$

gdzie:

Δf_o - pasmo przepuszczania odbiornika;

$\gamma = \frac{\Delta f_r}{T}$ - szybkość poszukiwania;

Δf_r - zakres rozpoznawanych częstotliwości;

otrzymujemy zależność na prawdopodobieństwo wykrycia impulsowego źródła sygnału:

$$P_w(T_p) = \frac{\tau_s + \frac{\Delta f_o}{\Delta f_r} T_p - 2\delta}{T_s}$$

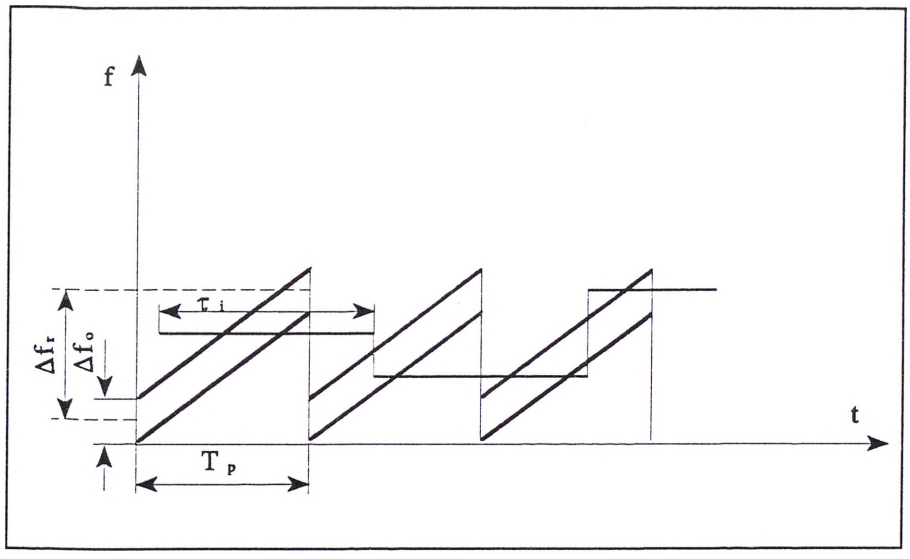
Wynika z tego, że prawdopodobieństwo wykrycia impulsowego źródła, przy poszukiwaniu z prędkością średnią, jest dla rozpatrywanego przypadku zawsze mniejsze od jedności. Dlatego też ten sposób może być wykorzystywany w

przypadkach gdy: $\tau_s \ll T_{od}$ a więc do sygnałów wolnozmiennych bądź stałoczęstotliwościowych.

Przy szybkim poszukiwaniu, czas przestrajania odbiornika w całym roboczym zakresie (Δf_r), jest mniejszy od czasu trwania odbieranego sygnału (rys. 3.3.), tzn.

$$T_p < \tau_i$$

W tym przypadku szybkość przestrajania jest nadzwyczaj duża (setki a nawet tysiące MHz/μs).



Rys. 3.3. Wykres ilustrujący zasadę przeszukiwania szybkiego.

Szybkość przestrajania nie może być jednak nieskończenie duża. Ograniczona jest dopuszczalnymi granicami zmniejszania czułości, dokładności i rozróżnialności przy określaniu częstotliwości, które to zjawiska powodowane są bezwładnością układów rezonansowych.

Charakterystyka częstotliwościowa odbiornika i długość rozpoznawanego impulsu związane są w przybliżeniu następującą zależnością:

$$\Delta f_o = \frac{1}{\tau}$$

Długość impulsu przy zadanej szybkości przestrajania γ i danym paśmie przepuszczania Δf_o wynosi:

$$\tau = \frac{\Delta f_o}{\gamma}$$

Stąd wynika, że

$$\Delta f_o \approx \sqrt{\gamma}$$

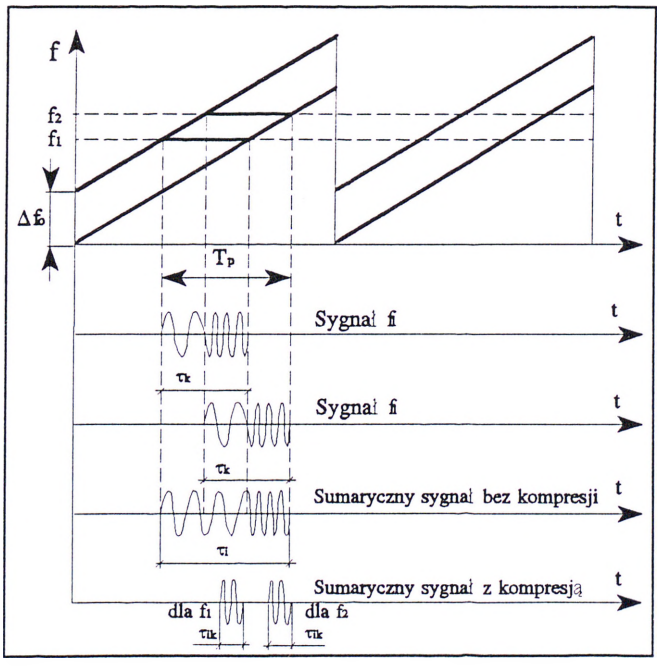
a w przypadku dzwonowej charakterystyki częstotliwościowej

$$\Delta f_o \approx \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\gamma}$$

Wynika z tego, że skracając czas poszukiwania, tracimy na dokładności określania częstotliwości i odwrotnie, zwiększając dokładność określania częstotliwości, musimy zwiększyć czas rozpoznania.

Rozwiązaniem tego problemu może być kompresja impulsów w odbiorniku. W ten sposób można uzyskać znaczną szybkość przestrajania i dużą rozróżnialność częstotliwości nośnej.

Na rys. 3.4. pokazane są wykresy przebiegów czasowych, które wyjaśniają możliwość polepszenia rozróżnialności w odbiornikach z kompresją impulsów.



Rys. 3.4. Przebiegi wyjaśniające możliwość zwiększenia rozróżnialności częstotliwości w odbiorniku z kompresją impulsów.

Jeśli do odbiornika docierają dwa sygnały f_1 i f_2 o zmieniających się częstotliwościach nośnych, to w wyniku przestrajania heterodyny na wyjściu pośredniej częstotliwości o paśmie przepuszczania Δf_o pojawią się impulsy zmodulowane częstotliwościowo o długości τ_k.

Przy sumowaniu tych impulsów w zwykłym odbiorniku panoramowym pojawia się jeden impuls o długości τ_i i w związku z tym nie można rozróżnić częstotliwości odbieranych sygnałów.

W odbiorniku z kompresją impulsów, sygnały z wyjścia pośredniej częstotliwości, doprowadzane są do filtru dyspersyjnego, w którym następuje kompresja sygnałów do długości τ_{ik}. Po kompresji sygnały nie zachodzą na siebie, są więc rozróżnialne w częstotliwości.

W praktycznych rozwiązaniach ustalono, że zwiększenie rozróżnialności jest proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego ze współczynnika kompresji. Przykładowo, odbiornik z kompresją impulsów, przestrajany w zakresie częstotliwości z prędkością γ = 100 MHz/μs, o współczynniku kompresji 100, charakteryzuje się rozróżnialnością równą 1 MHz, tzn. 10-cio krotnie większą od zwykłego odbiornika panoramowego o tej samej szybkości przestrajania.

Szybkość przestrajania, najbardziej zaawansowanych współczesnych rozwiązań tego typu, zapewnia kilkusetkrotne przeszukanie (tzw. scaning) całego zakresu częstotliwości w ciągu sekundy.

Określanie częstotliwości bez poszukiwania polega na tym, że rozpoznanie prowadzi się jednocześnie na wszystkich interesujących nas podzakresach częstotliwości.

Urządzenia odbiorcze, w których wykorzystuje się tę metodę, zapewniają jednoczesny odbiór w całym rozpoznawanym zakresie częstotliwości, bez potrzeby przestrajania heterodyn czy filtrów. Dotychczas znane były metody określania częstotliwości bez poszukiwania:

- z zastosowaniem dyskryminatorów częstotliwościowych;
- metoda interferencyjna;
- z wykorzystaniem odbiorników wielokanałowych.

Jednym z nowocześniejszych rozwiązań tego problemu są szerokopasmowe odbiorniki wykorzystujące technologię akustycznej fali powierzchniowej (SAW[1]). Brak specjalistycznych materiałów źródłowych nie pozwolił na szerszą analizę tych metod. Jednak rozwiązania tych problemów po przebudowie modelu, pozwoliłyby objąć rozpoznaniem również środki wykorzystujące emisje z widmem rozproszonym.

Obejmowanie rozpoznaniem coraz wyższych zakresów częstotliwości narzucają tendencje do wykorzystywania tych zakresów we współczesnych systemach łączności. Owe tendencje wiążą się z coraz większym nasyceniem wojsk środkami łączności, co powoduje coraz większe "zatłoczenie" wykorzystywanych zakresów częstotliwości oraz z cyfryzacją torów przekazu, które do przesyłania dużego strumienia informacji, wymagają znacznie szerszych, niezajętych pasm, o które łatwiej w wyższych zakresach częstotliwości.

Uwzględniając owe tendencje, potwierdzone analizą współczesnych systemów dowodzenia, przebudowa modelu powinna się wiązać z przeniesieniem wysiłku rozpoznania radiowego z zakresu krótkofalowego, w wyższe zakresy częstotliwości. Przeniesienie wysiłku może oznaczać całkowitą rezygnację z rozpoznania krótkofalowego na szczeblu związku operacyjnego i pozostawienie go w gestii elementów centralnego podporządkowania, bądź też utrzymanie stanu posiadania na poziomie obecnie funkcjonującego modelu, obejmując rozpoznanie krótkofalowe przedsięwzięciami z zakresu automatyzacji.

Przez pojęcie wyższe zakresy częstotliwości należy rozumieć:

- w radiokomunikacji radiowej pasma:

20-88 MHz, 100-1850 MHz, 225-400 MHz;

- w radiokomunikacji radioliniowej (horyzontowej):

220-1850 MHz, 4,4-5,0 GHz, 7,0-8,5 GHz, 12,0-15,5 GHz;

- w radiokomunikacji radioliniowej (pozahoryzontowej): 300-500 MHz, 0,7-1,0 GHz, 4,4-5,0 GHz, 7,0-8,5 GHz, 10-15,5 GHz;

- w radiokomunikacji satelitarnej:

---

[1] SAW - SURFACE ACUSTIC WAVE - akustyczna fala powierzchniowa.

225-400 MHz, 7,2-8,4 GHz, 16-40 GHz, 30-300 GHz[1];

- w łączach optoelektronicznych:

3×10^{12} - 3×10^{15} Hz.

Większość z wymienionych podzakresów częstotliwości leży poza zasięgiem możliwości obecnie funkcjonującego modelu, wymaga więc nowych rozwiązań konstrukcyjnych, które pozwolą na objęcie kontrolą tego spektrum.

Trzecia z wymienionych charakterystyk podstawowych, określać będzie zależność intensywności emisji od kierunku obserwacji, dopełniając obraz sytuacji elektromagnetycznej na etapie rozpoznania wstępnego.

Natomiast na etapie rozpoznania szczegółowego, charakterystyka kierunkowa będzie bezpośrednio związana z precyzyjną lokalizacją źródeł promieniowania w ugrupowaniu przeciwnika.

Problemy z oceną środowiska elektromagnetycznego nie wiążą się jedynie z dostępem do wymienionych zakresów częstotliwości, pomiarem natężenia czy lokalizacji źródeł. Dla potrzeb rozpoznania szczegółowego, istotnymi będą również parametry modulacji i szerokości pasm emisji radiowych. Uzasadnione jest więc przybliżenie problematyki podstawowych rodzajów modulacji.

Z modulacja amplitudy (AM[2]) mamy do czynienia wówczas, gdy amplituda sygnału nośnego zmienia się w czasie proporcjonalnie do wartości sygnału modulującego.

Urządzenie służące do tworzenia sygnału o zmodulowanej amplitudzie nazywany modulatorem amplitudy.

Przebiegi występujące w modulatorze amplitudy przedstawione są na rys. 3.5.

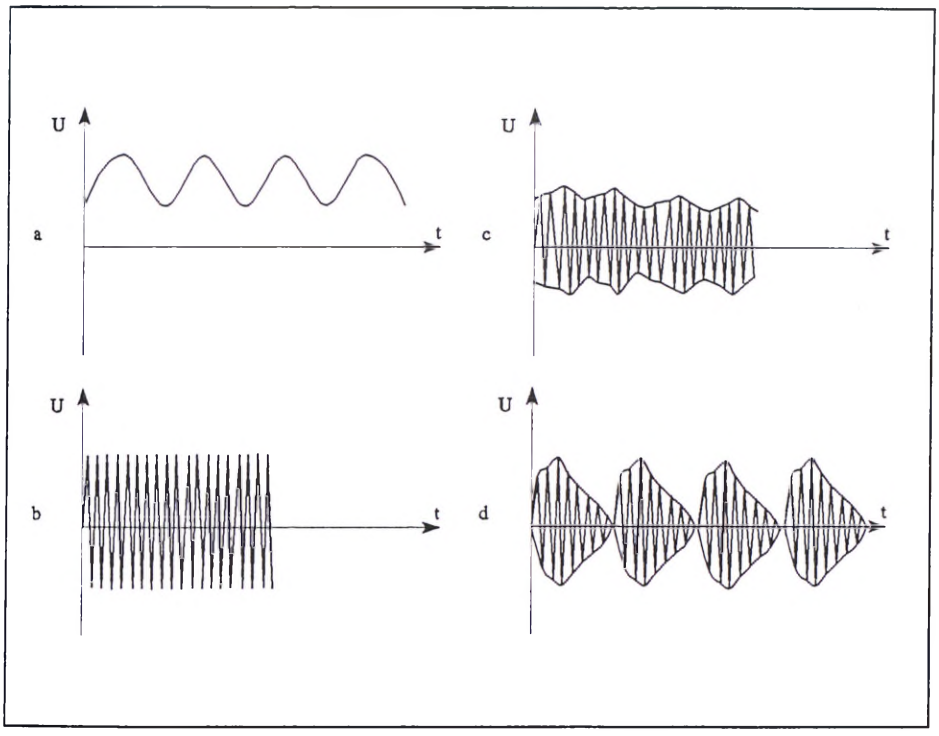
Owe przebiegi w funkcji częstotliwości, tworzą widmo sygnału zmodulowanego.

Widmo sygnału zmodulowanego zawiera trzy składowe: prążek odpowiadający sygnałowi nośnemu oraz dwa prążki boczne (rys. 3.6.) lub dwie wstęgi boczne (rys.3.7.).

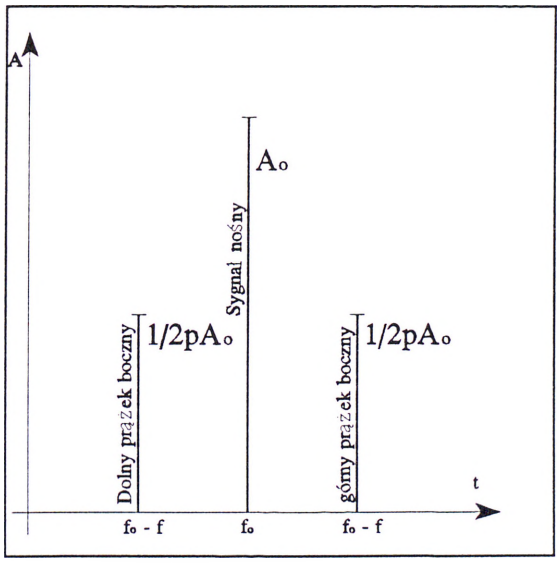
---

[1] KOMUNIKAT MIESIĘCZNY 02-1992 r., s. 37.

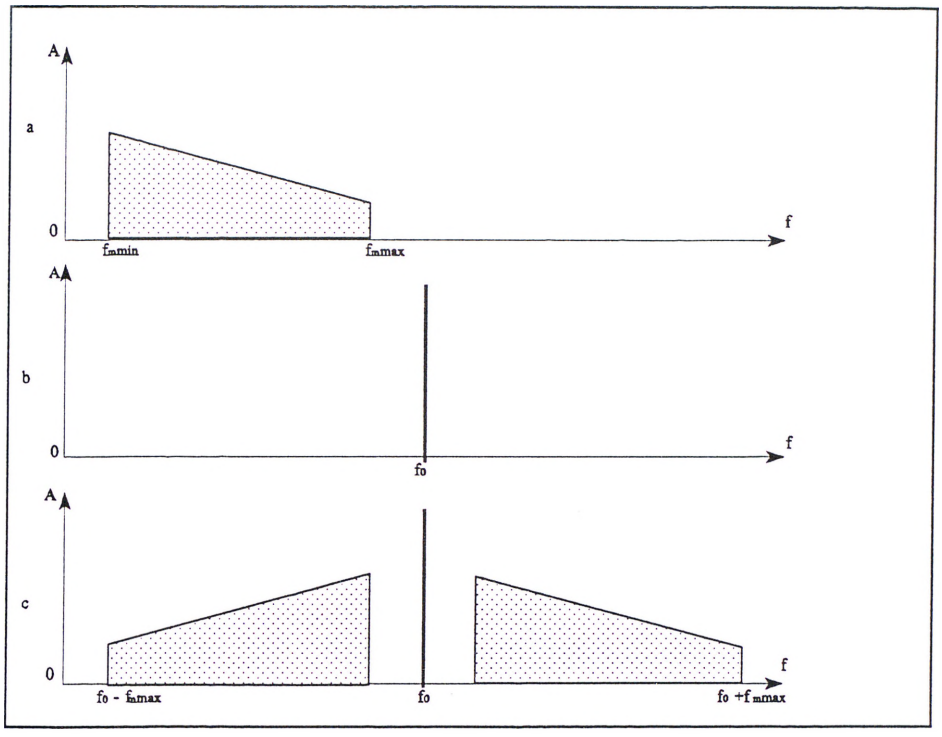
[2] AM - ang. - Amplitude Modulation - modulacja amplitudy.



Rys. 3.5. Przebiegi czasowe przy modulacji amplitudy:
a) sygnał modulujący; b) sygnał nośny (w.cz.);
c) sygnał zmodulowany; d) sygnał przemodulowany.



Rys. 3.6. Widmo sygnału AM przy sinusoidalnym sygnale modulującym.



Rys. 3.7. Widmo sygnału AM z telefonicznym sygnałem modulującym: a) widmo sygnału modulującego; b) sygnał nośny; c) widmo sygnału zmodulowanego amplitudowo.

Szerokość pasma częstotliwości[1] sygnału zmodulowanego jest równa podwojonej, największej częstotliwości występującej w widmie sygnału modulującego:

$$B_{AM} = 2f_m$$

B_{AM} - szerokość pasma sygnału zmodulowanego;

f_m - największa częstotliwość występująca w widmie sygnału modulującego.

Taką szerokość pasma przenoszenia muszą mieć wszystkie elementy toru radiowego, przenoszące sygnał zmodulowany.

[1] Według Międzynarodowego Komitetu Doradczego do Spraw Komunikacji Radiowej (CCIR) określone pasmo częstotliwości zawiera 99 % mocy promieniowanej, przy czym znajdują się tam wszystkie częstotliwości, które przenoszą ponad 0,25 % wypromieniowanej mocy. CCIR Draft Report AF/1: "Definition of spectrum use and efficiency". Conclusion of the Study Group 1, 1976 r.

Jeśli zaś rozpatrzeć zależności energetyczne, to średnia moc sygnału AM jest równa sumie mocy wydzielonej przez każdą z trzech składowych widma tego sygnału:

$$P_{AM} = \frac{1}{2}A_0^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}pA_0\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}pA_o\right)^2$$

Pierwszy człon odpowiada mocy przebiegu nośnego niezależnego od sygnału modulującego. Drugi i trzeci człon są proporcjonalne do kwadratu amplitudy sygnału modulującego i odpowiadają średniej mocy wstęg bocznych. Po zsumowaniu tych trzech składowych otrzymujemy:

$$P_{AM} = P_c\left(1 + \frac{1}{2}p^2\right)$$

przy czym $P_c = \frac{1}{2}A_o^2$ jest mocą przebiegu nośnego.

Interesujące jest porównanie wartości mocy wstęg bocznych z mocą sygnału nośnego z ostatniego wyrażenia wynika, że:

$$\frac{Moc\ wsteg\ bocznych}{Moc\ sygnalu\ nosnego} = \frac{1}{2}p^2$$

Tak więc, przy pełnym wymodulowaniu (p = 1) sumaryczna moc wstęg bocznych jest równa zaledwie połowie mocy sygnału nośnego. W typowych przypadkach, we wstęgach bocznych zawarta jest tylko jedna trzecia całkowitej mocy sygnału, pozostałe dwie trzecie, to moc sygnału nośnego.

Brak informacji użytecznej w sygnale nośnym sugerowałoby usunięcie go z widma sygnału AM. Powstaje w ten sposób sygnał dwuwstęgowy bez fali nośnej (DBS-SC[1]).

Funkcja opisująca sygnał DBS-SC ma postać:

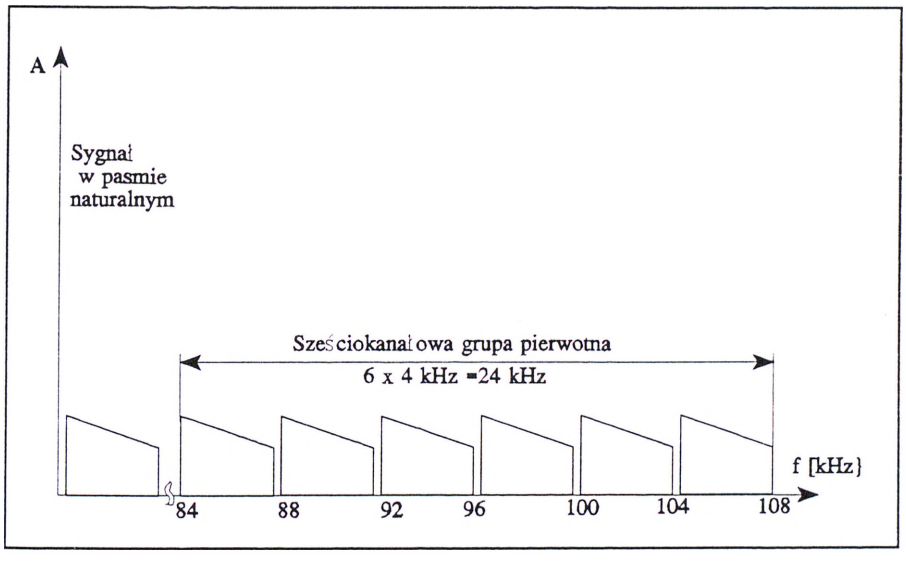
$$s(t) = x(t)\, A_o \cos \omega_o t$$

Szerokość pasma sygnału dwuwstęgowego bez fali nośnej jest taka sama jak szerokość pasma sygnału AM, jednak cała moc tego sygnału jest wykorzystywana

[1] DBS-SC - ang. - Double Sideband - Suppressed Carrier - podwójna wstęga z tłumioną falą nośną.

do przekazywania informacji. Jeszcze korzystniejsze i to zarówno pod względem energetycznym, jak i szerokości zajmowanego pasma są emisje jednowstęgowe.

W prowadzonej analizie padło stwierdzenie, że obie wstęgi boczne występujące w widmie AM, są nośnikami tej samej informacji bowiem odwrócenie porządku składowych widma nie wpływa na zawartość informacyjną sygnału. Do przenoszenia informacji można więc wykorzystać tylko jedną (dowolną) wstęgę boczną sygnału AM. Dzięki temu szerokość pasma sygnału jednowstęgowego, oznaczonego skrótem SSB[1], jest równa szerokości pasma sygnału modulującego, natomiast cała moc nadajnika wykorzystywana jest do wygenerowania pojedynczej wstęgi, co daje sześciokrotny zysk energetyczny w stosunku do klasycznej AM. Z tego względu modulacje jednowstęgowe są szeroko stosowane w telekomunikacji. Stosuje się je w telefonii do tworzenia sygnałów wielokrotnych (rys. 3.8.) a także w radiotelefonii w zakresie fal krótkich oraz w łączności radioliniowej.



Rys. 3.8. Sygnał wielokrotny stosowany w telefonii utworzony na zasadzie podziału częstotliwości.

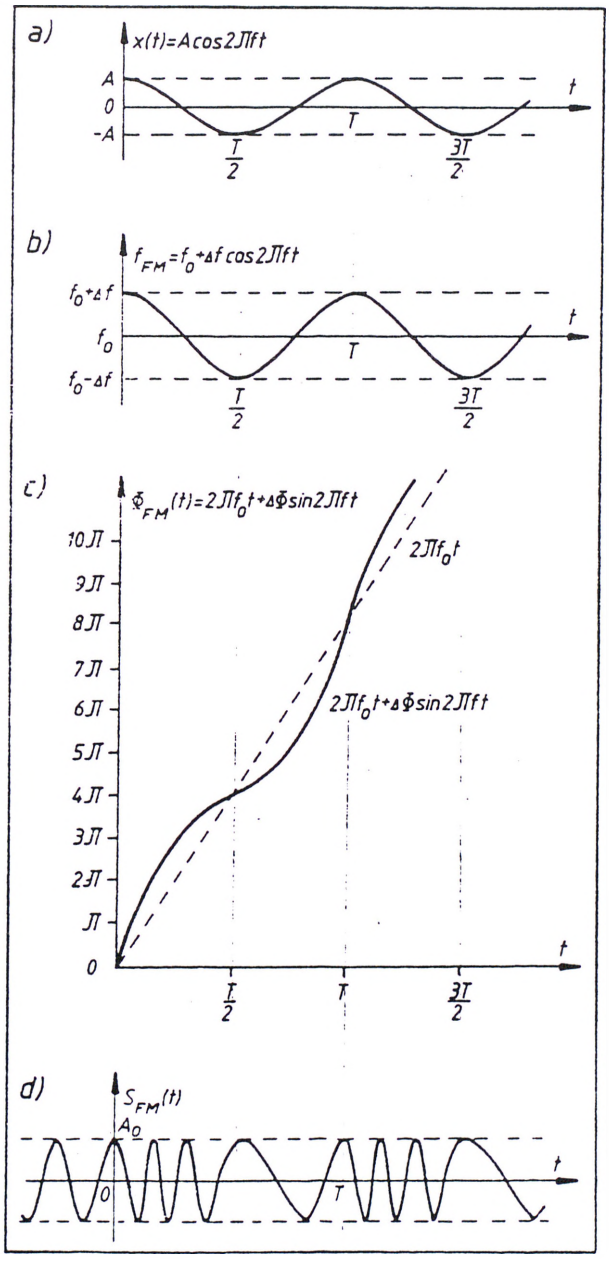
W dotychczasowej analizie emisji radiowych została omówiona zasada przekazywania informacji zawartej w sygnale modulacyjnym x(t) za pomocą zmian amplitudy sygnału nośnego c(t).

---

[1] SSB - ang. Single Sideband - pojedyncza wstęga boczna.

Z przytoczonej definicji "modulacji" wynika, że sygnał modulujący może oddziaływać na dowolny parametr nośnika, a więc również na częstotliwość i fazę przebiegu nośnego. Mówimy wówczas o modulacji częstotliwości lub modulacji fazy.

Przy modulacji czestotliwosci (FM[1]) sygnał modulujący oddziaływuje na częstotliwość przebiegu nośnego (rys. 3.9.).



Rys. 3.9. Konstrukcja sygnału zmodulowanego częstotliwościowo (FM) przebiegiem harmonicznym: a) sygnał modulujący, b) częstotliwość chwilowa, c) faza chwilowa, d) sygnał zmodulowany.

[1] FM - ang. - Frequency Modulation - modulacja częstotliwości.

Równanie sygnału zmodulowanego w częstotliwości ma postać:

$$S_{FM} = A_o \cos\varphi_{FM}(t) = A_o \cos(2\pi f_o t + \beta_{FM} \sin 2\pi f t)$$

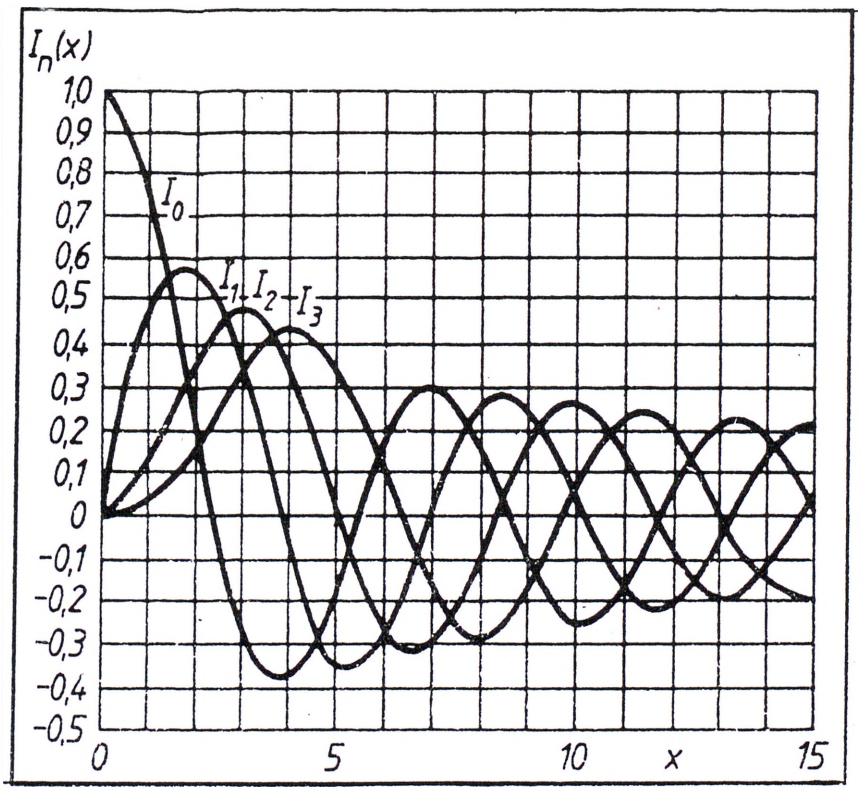
Z równania wynika, że amplituda sygnału zmodulowanego nie zmienia się w procesie modulacji. Dokonując pewnych przekształceń matematycznych możemy ostatnie wyrażenie można zapisać:

$$S_{FM}(t) = I_o \cos 2\pi f_o t + I_1(\beta)[\cos 2\pi (f_o + f) t - \cos 2\pi (f_o - f)] + I_2(\beta)$$

$$[\cos 2\pi (f_o + 2f) t + \cos 2\pi (f_o - 2f) t] + I_3(\beta)$$

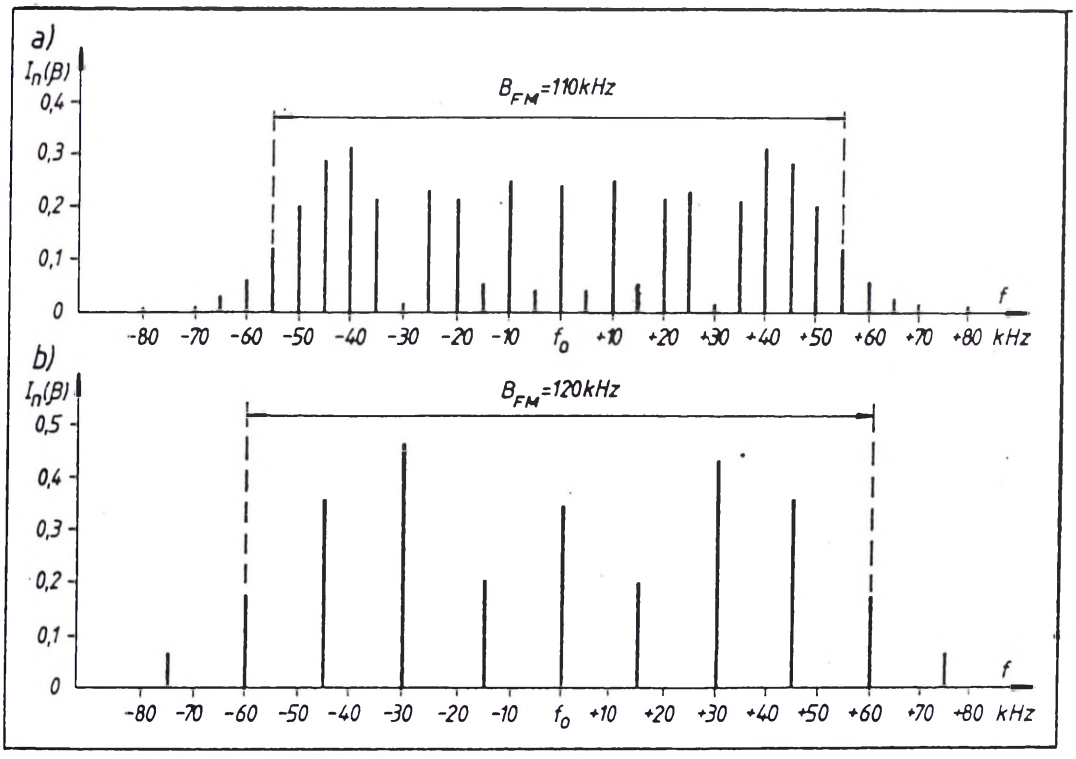
$$[\cos 2\pi (f_o + 3f) t - \cos 2\pi (f_o - 3f) + \ldots]$$

przy czym I_n oznacza funkcję Bessela pierwszego rodzaju rzędu n (rys. 3.10.);



Rys. 3.10. Funkcje Bessela pierwszego rodzaju.

dla uproszczenia pominięto indeks FM przy wskaźniku modulacji β. Z wyrażenia tego wynika, że w widmie sygnału FM występuje nieskończenie wiele par prążków bocznych rozmieszczonych symetrycznie względem częstotliwości sygnału nośnego. Odległość między prążkami jest równa częstotliwości chwilowej sygnału modulującego (rys. 3.11.).



Rys. 3.11. Przykładowe widmo sygnału FM przy stałej dewiacji częstotliwości Δf = 50 kHz. a) Częstotliwość sygnału modulującego f = 5 kHz. Wskaźnik modulacji β = 10, liczba skutecznych prążków bocznych N = 11. Szerokość pasma B_{FM} = 110 kHz. b) Częstotliwość sygnału modulującego f = 15 kHz, wskaznik modulacji β = 3,33, liczba skutecznych par prążków bocznych N = 4, szerokość pasma B_{FM} = 120 kHz.

Należy zwrócić uwagę, że przy modulacji częstotliwości w odróżnieniu od modulacji amplitudy, poziom prążka odpowiadającego sygnałowi nośnemu nie jest stały. Dla pewnych wartości wskaźnika modulacji (β = 2,40; 5,52; 8,65; ...)

znika on zupełnie. Ma to istotne znaczenie dla pracy układów odtwarzania sygnału nośnego w odbiornikach FM.

Zależności energetyczne. Chcąc określić moc sygnału FM wydzieloną w antenie nadajnika, najwygodniej będzie zsumować moce wszystkich prążków występujących w widmie sygnału zmodulowanego:

$$P_{FM} = \frac{1}{2} A_o^2 \left[I_o(\beta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2(\beta) \right]$$

Z teorii funkcji Bessela wiadomo, że

$$I_o^2 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2(\beta) = 1$$

dla wszystkich wartości β ;
zatem:

$$P_{FM} = \frac{1}{2} A_o^2 = P_c$$

Moc sygnału FM nie zmienia się więc w procesie modulacji i jest równa mocy nie modulowanego sygnału nośnego. Jest to bardzo istotna cecha modulacji częstotliwości. Cała moc sygnału zmodulowanego jest wykorzystywana do przekazywania informacji. Przypomnijmy, że przy modulacji amplitudy tylko jedna trzecia mocy sygnału zmodulowanego jest wykorzystywana do tego celu i to tylko przy pełnym wymodulowaniu.

Modulacja fazy (PM)[1]

W tym przypadku, chwilowa faza sygnału zmodulowanego zmienia się propocjonalnie do chwilowej wartości sygnału modulującego:

$$\phi_{PM}(t) = 2\pi f_o t + k_x(t)$$

[1] PM - ang. - Phase Modulation - modulacja fazy.

Jeśli jako sygnał modulujący przyjmiemy przebieg sinusoidalny

$$x(t) = A\sin 2\pi f t$$

to

$$\phi_{PM}(t) = 2\pi f_o t + \Delta\phi \sin 2\pi f t$$

przy czym $\Delta\phi$ = kA jest dewiacją fazy.

Dewiację fazy rozumie się jako największą odchyłkę - wywołaną sygnałem modulacyjnym - fazy chwilowej sygnału zmodulowanego od fazy chwilowej przebiegu nośnego. Przy modulacji fazy przebieg fazy chwilowej ma postać liniową z nałożonym nań przebiegiem sinuoidalnym (rys 3.12.). Jest to więc taki sam przebieg jak w przypadku modulacji częstotliwości.

Pamiętać jednak należy, że przy analizowaniu modulacji częstotliwości przyjęty był cosinusoidalny przebieg modulujący, natomiast przy modulacji fazy przebieg modulujący ma postać sinusoidy. Częstotliwość chwilowa sygnału PM zmienia się propocjonalnie do pochodnej sygnału modulującego. Jako wskaźnik modulacji PM przyjmujemy wprost dewiację fazy:

$$\beta_{PM} = \Delta\phi$$

Równanie przebiegu zmodulowanego fazowo sygnałem sinusoidalnym można więc zapisać następująco:

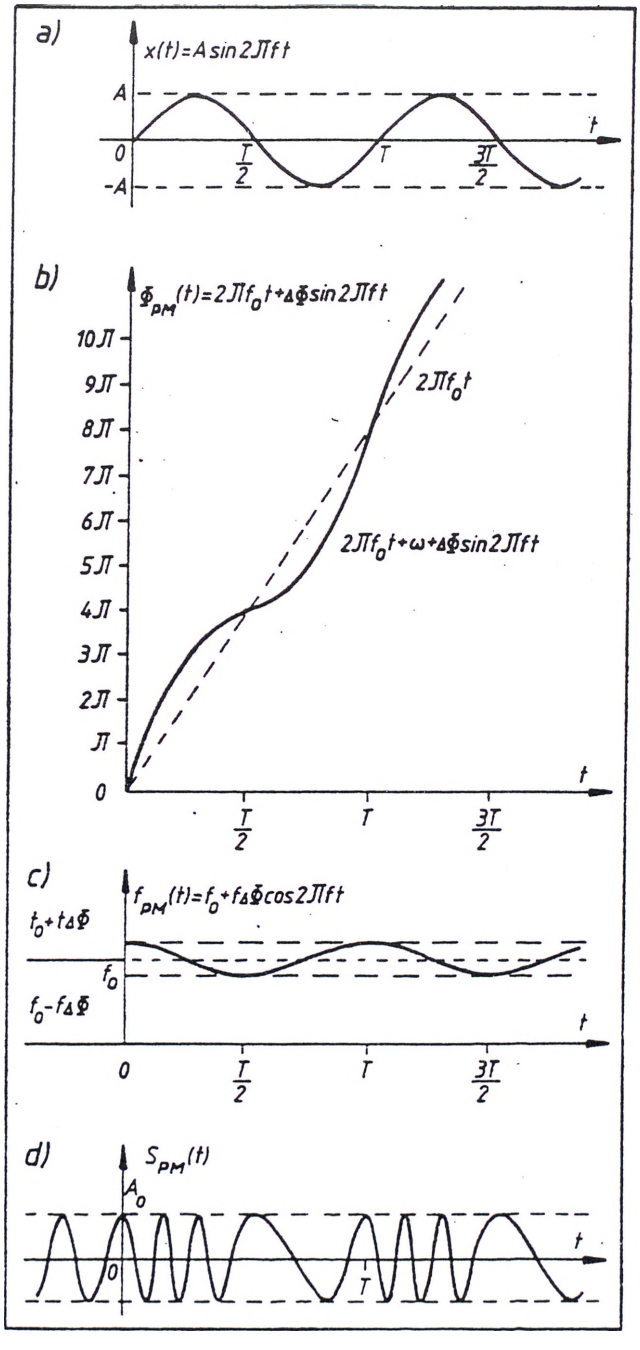
$$S_{PM}(t) = A_o \cos(2\pi f_o t + \beta_{PM} \sin 2\pi f t)$$

Tak jak w przypadku modulacji częstotliwości, amplituda sygnału PM nie zmienia się w procesie modulacji.

Widmo sygnału PM - podobnie jak widmo sygnalu FM - zawiera nieskończenie wiele par prążków bocznych. Jest jednak istotna różnica między widmami sygnałów FM i PM. W procesie modulacji fazy wskaźnik modulacji nie zmienia się, co oznacza, że kształt widma sygnału zmodulowanego nie zależy od częstotliwości sygnału modulującego.

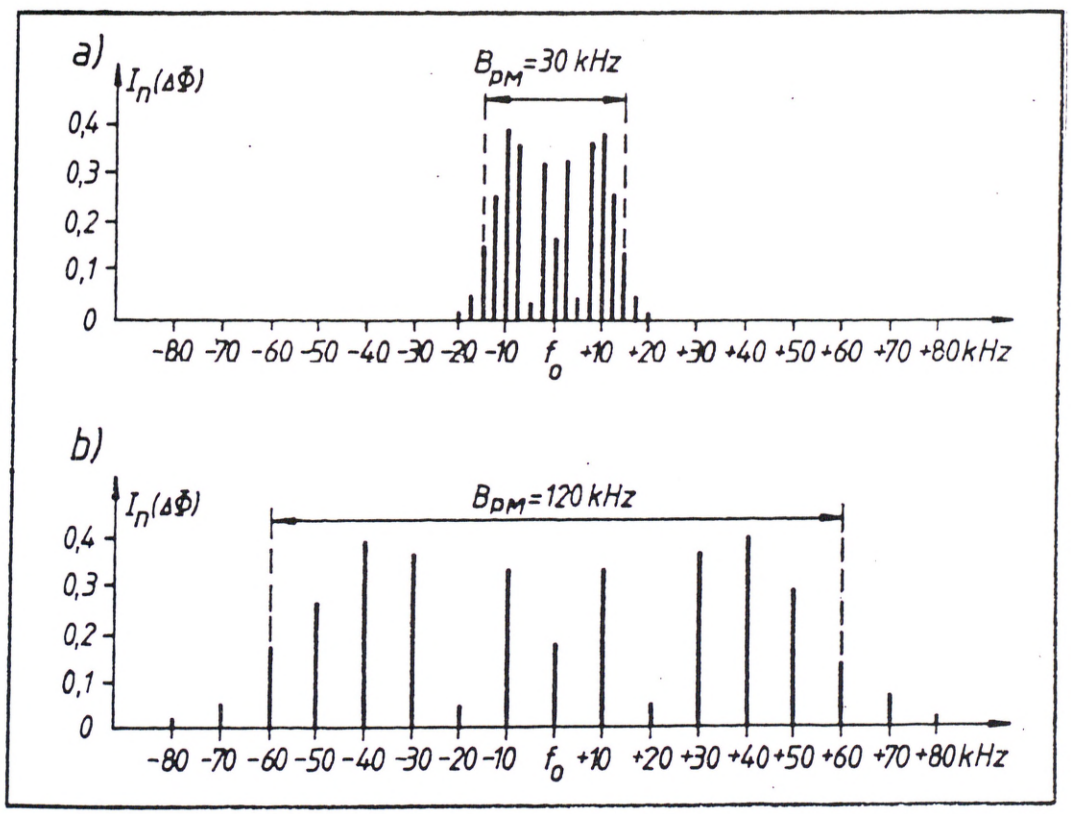
Skuteczna szerokość pasma zajmowana przez sygnał PM jest proporcjonalna do częstotliwości sygnału modulującego. Obliczyć ją można korzystając z wzoru:

$$B_{PM} = 2(1 + \Delta\phi) f$$



Rys. 3.12. Konstrukcja sygnału zmodulowanego fazowo (PM) przebiegiem harmonicznym: a) sygnał modulujący; b) faza chwilowa; c)częstotliwość chwilowa; d) sygnał zmodulowany.

Moc sygnału PM - podobnie jak sygnału FM - nie zmienia się w procesie modulacji i jest równa mocy nie modulowanego sygnału nośnego. Tak więc modulacja fazy jest równie skuteczna z energetycznego punktu widzenia jak modulacja częstotliwości.



Rys. 3.13. Przykładowe widma sygnałów PM przy stałej dewiacji fazy $\Delta\phi$ = 5 radianów: a) częstotliwość sygnału modulującego f = 2,5 kHz, liczba par prążków bocznych N = 6, szerokość pasma B_{PM} = 30 kHz; b) częstotliwość sygnału modulującego f = 10 kHz, liczba skutecznych par prążków bocznych N = 6, szerokość pasma B_{PM} = 120 kHz.

Kluczowanie fazy i czestotliwosci.

Szczególne znaczenie praktyczne ma modulacja harmonicznego sygnału nośnego przebiegiem prostokątnym. Przy PM występuje wówczas tzw. kluczowanie fazy (PSK[1]), w przypadku FM natomiast - kluczowanie częstotliwości (FSK[2]). Kluczowanie częstotliwości stosuje się od dawna w telegrafii krótkofalowej, obie metody kluczowania są stosowane w transmisji danych.

Konstrukcję sygnału z kluczowaniem fazy ilustruje rys. 3.14. Skokowym zmianom fazy odpowiadają nieskończenie duże skoki częstotliwości, zobrazowane strzałkami na rys. 3.14.c.

Dewiacja fazy może wynosić $\pi/2$ radianów, mówimy wówczas o dwuwartościowym kluczowaniu fazy (2-PSK). W celu zwiększenia szybkości transmisji często stosuje się dewiację fazy równą $\pi/4$ radianów, co odpowiada czterowartościowemu kluczowaniu fazy (4-PSK lub Q-PSK).

W ogólnym przypadku dewiacja fazy może być równa π/M, mamy wówczas do czynienia z M-wartościowym kluczowaniem fazy.

W widmie sygnału PSK występują tylko prążki boczne nieparzystych rzędów. Poziom prążka odpowiadającego przebiegowi nośnemu i poziomy prążków bocznych zależą od dewiacji fazy.

Przy $\Delta\phi = \pi/2$, gdy skok fazy wynosi π, znika prążek odpowiadający przebiegowi nośnemu.

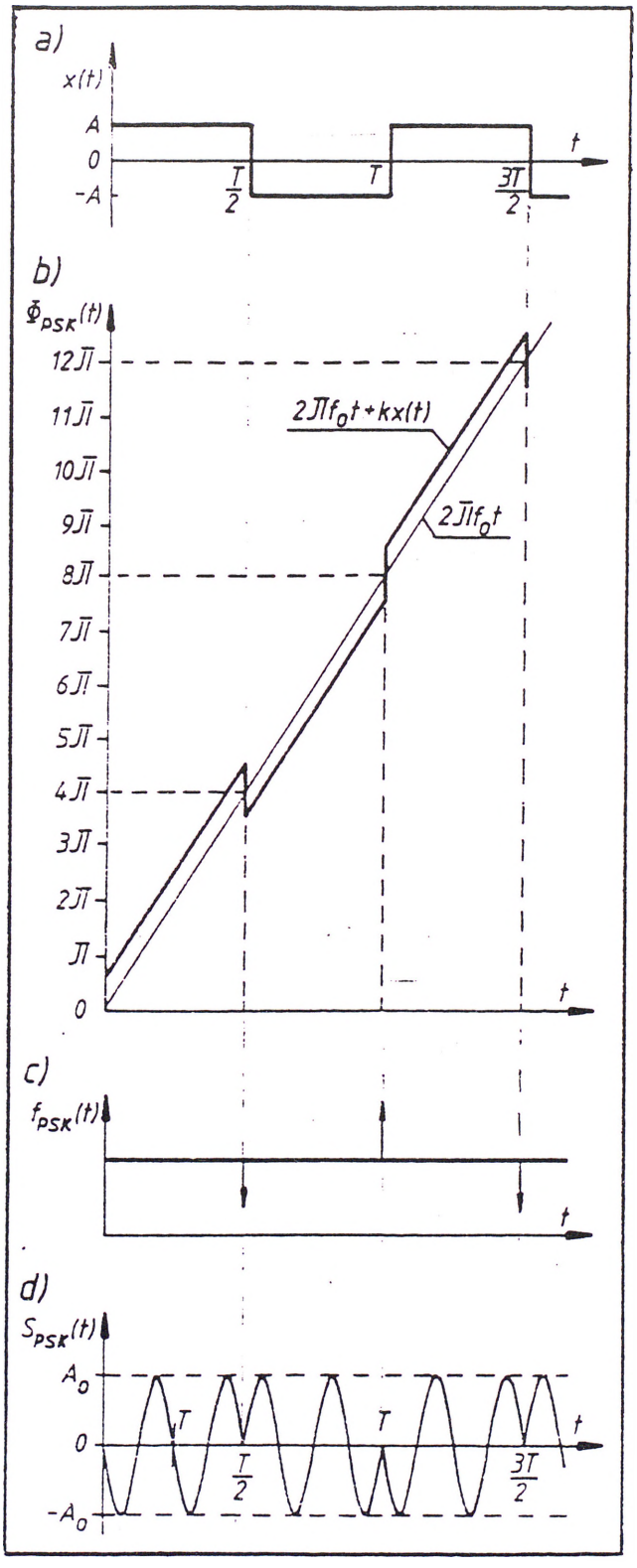
Konstrukcję sygnału z kluczowaniem częstotliwości ilustruje rys. 3.14. Kształt widma sygnału FSK zależy od tzw. wskaźnika kluczowania β, który - przez analogię z modulacją częstotliwości sygnałem harmonicznym - definiujemy jako stosunek dewiacji częstotliwości do częstotliwości kluczowania. Na rys. 3.15. pokazano widma sygnału FSK, dla czterech wartości parametrów β, przy czym zmianę tego parametru uzyskano przez zmianę częstotliwości sygnału kluczującego, przy stałej dewiacji częstotliwości.

Z rysunku wynika, że efekt skupiania się prążków widma wokół punktów potęguje się ze wzrostem parametru β.

---

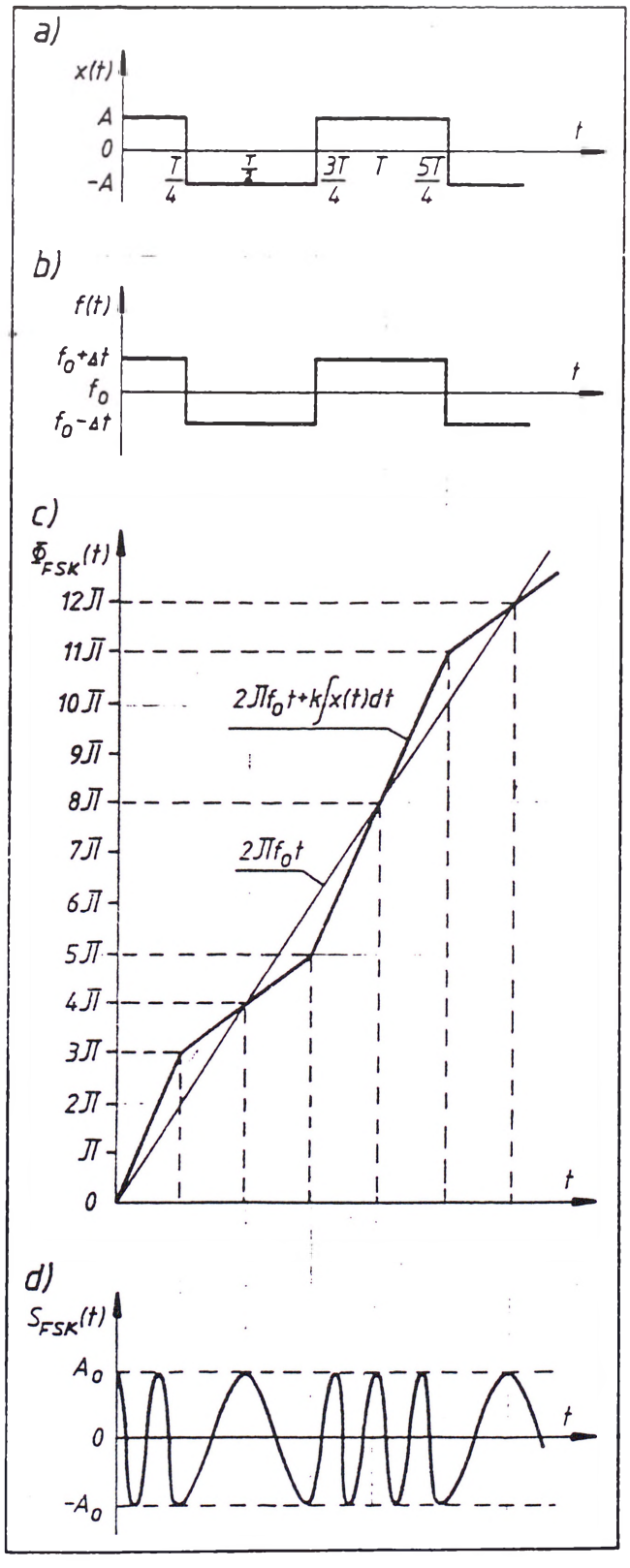
[1] PSK - ang. - Phase Shift Keying - kluczowanie fazy.

[2] FSK - ang. - Frequency Shift Keying - kluczowanie częstotliwości.



Rys. 3.14. Konstrukcja sygnału z kluczowaniem fazy (PSK):
a) sygnał kluczujący; b) faza chwilowa; c) częstotliwość chwilowa; d) sygnał zmodulowany.

W przypadku granicznym, gdy częstotliwość kluczowania zmierza do zera (kluczowanie nieskończenie powolne), w widmie występują tylko dwa prążki $f_o + \Delta f$ i $f_o - \Delta f$ (rys. 3.15. d).



Rys. 3.15. Konstrukcja sygnału z kluczowaniem częstotliwości (FSK):
a) sygnał kluczujący; b) częstotliwość chwilowa; c) faza chwilowa;
d) sygnał zmodulowany.

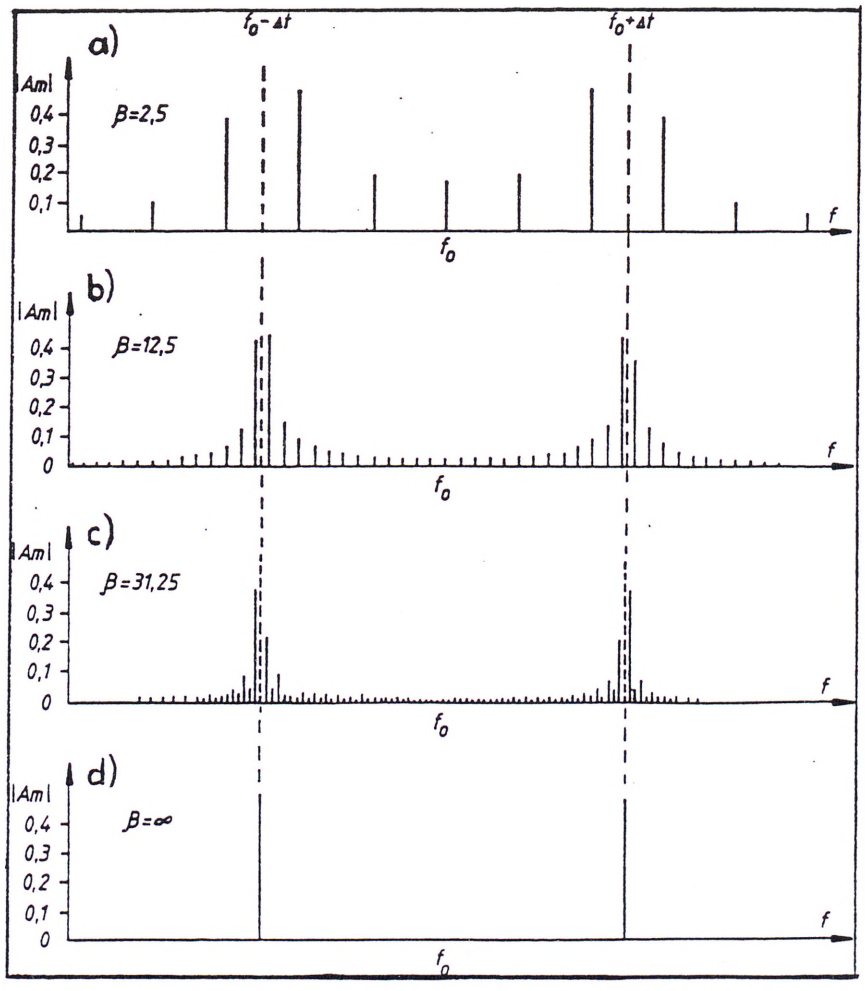
Pojawienie się kluczowania powoduje rozbudowanie widma, pojawiają się prążki będące rezultatem przełączania częstotliwości. W miarę zwiększania częstotliwości kluczowania układ prążków staje się coraz mniej podobny do układu statycznego, a moc przypadająca na prążki reprezentujące efekt kluczowania rozkłada się w widmie w sposób coraz bardziej równomierny.

Wszystkie omówione dotychczas rodzaje modulacji miały wspólną cechę. Ich sygnałem nośnym był sygnał ciągły (sinusoida, cosinusoida) podlegający procesowi modulacji lub kluczowania.

Modulacje impulsowe

Sygnał nośny niekoniecznie musi mieć przebieg w postaci sinusoidy czy cosinusoidy. Sygnałem nośnym może być również ciąg impulsów będący cechą wspólną wszystkich modulacji impulsowych. Ideą modulacji impulsowych, jest proces okresowego pomiaru wartości zmiennych fizycznych sygnału.

Każdy sygnał o ograniczonym paśmie, nie zawierający składowych widma powyżej pewnej częstotliwości granicznej tą, jest całkowicie określany przez jego



Rys. 3.16. Widma sygnału FSK.

wartości w ustalonych odstępach czasu, czyli przez ciąg próbek pobieranych 2fg razy na sekundę lub częściej.

Zamiast przesyłać sygnał ciągły, można przesyłać informacje o wartościach tych próbek, z conajmniej tą samą częstością.

Pojedynczy impuls prostokątny o amplitudzie A i czasie trwania (szerokości) τ (rys. 3.17.a), można zapisać w postaci równania:

$$p(t) = A_o$$

gdy

$$-\frac{\tau}{2} \leq t \leq +\frac{\tau}{2}$$

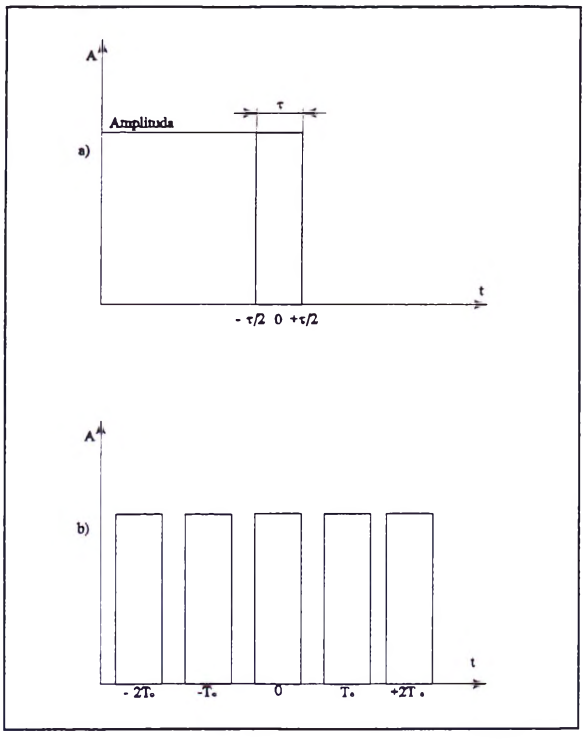
W przeciwnym wypadku:

$$p(t) = 0$$

Ciąg takich impulsów powtarzanych co T_o sekund (rys. 3.17.b) opisuje równanie:

$$c(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} P_n(t - nT_o)$$

Jest to równanie impulsowego sygnału nośnego.



Rys. 3.17. Pojedynczy impuls prostokątny (a) oraz impulsowy sygnał nośny (b).

Proces modulacji amplitudy impulsów (PAM[1]) polega na przemnożeniu impulsowego sygnału nośnego przez sygnał modulujący

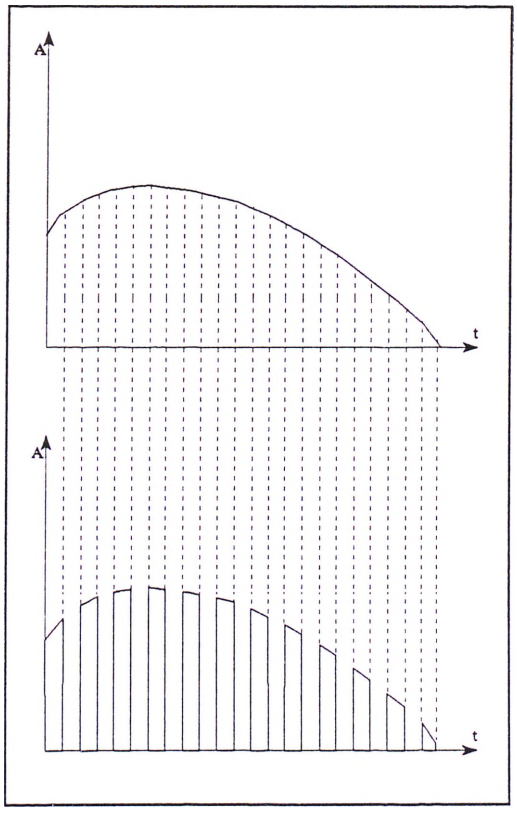
$$S(t) = c(t) \times m(t),$$

przy czym m(t) jest sygnałem modulującym.

Opisany proces nazywany jest próbkowaniem naturalnym.

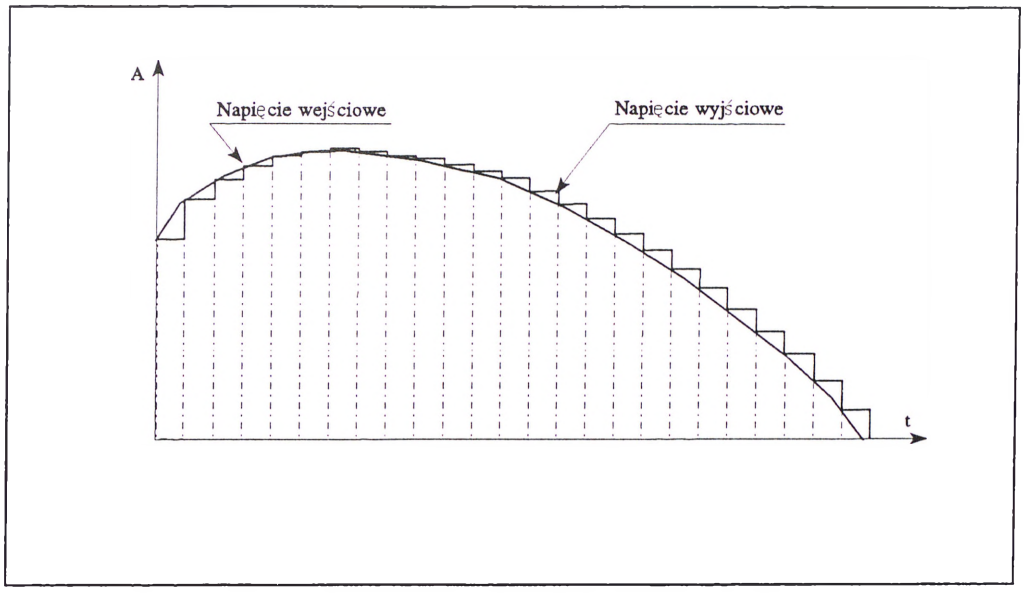
Praktyczna realizacja próbkowania naturalnego jest kłopotliwa (każdy impuls ma inny kształt (rys. 3.18.). W praktyce stosuje się zwykle próbkowanie chwilowe zwane próbkowaniem cyfrowym (rys. 3.19.).

Próbkowanie chwilowe nie zmienia kształtu impulsów sygnału nośnego. Sygnał zmodulowany, jest ciągiem impulsów prostokątnych o amplitudach równych wartościom sygnału modulującego w momentach próbkowania.



Rys. 3.18. Próbkowanie naturalne: a - sygnał modulujący, b - ciąg próbek.

[1] PAM - ang. - Pulse Amplitude Modulation - modulacja amplitudy impulsów.



Rys. 3.19. Próbkowanie chwilowe (cyfrowe).

Widmo sygnału zmodulowanego przy próbkowaniu chwilowym jest iloczynem widma sygnału zmodulowanego przy próbkowaniu idealnym przez widmo pojedynczego impulsu. Widmo to nie zawiera nie zniekształconego widma sygnału modulującego, nie jest więc możliwe odtworzenie tego sygnału za pomocą filtru dolnoprzepustowego tak jak w przypadku próbkowania naturalnego. W celu wiernego odtworzenia sygnału zmodulowanego przy próbkowaniu chwilowym należy zastosować dodatkowy filtr o transmitancji $1/Q(\omega)$.

Widmo pojedynczego impulsu wyraża się wzorem

$$Q(\omega) = A_o \tau \frac{\sin(\omega \frac{\tau}{2})}{\omega \frac{\tau}{2}}$$

Dopuszczając jednodecybelowe zniekształcenia liniowe, można zrezygnować z dodatkowego filtru korekcyjnego, jeśli iloczyn fg jest większy niż 0,262. Np. próbkując sygnał fg = 15 kHz impulsami o szerokości 17 μs można zrezygnować z filtru korekcyjnego, ponieważ iloczyn $fg*\tau = 0{,}255 < 0{,}262$. W miarę zawężania impulsu próbkującego funkcja $Q(\omega)$ staje się coraz bardziej płaska; próbkowanie chwilowe zbliża się do próbkowania idealnego. Próbkowanie idealne jest szczególnym

przypadkiem próbkowania naturalnego i chwilowego, gdy szerokość impulsów próbkujących dąży do zera.

Proces modulacji amplitudy impulsów, jako niezbędny do dalszej analizy, został szczegółowo opisany. Pozostałe rodzaje modulacji impulsowych prostych czyli: modulacja położenia impulsów (PPM), szerokości (czasu trwania) impulsów (PWM, PDM) nie będą rozpatrywane, bowiem praktycznie nie występują w systemach łączności. Zmodulowany ciąg impulsów można przesłać od nadajnika do odbiornika tylko za pomocą toru przewodowego i to niezbyt skutecznie.

Modulacja impulsowa kodowa.

PAM, PPM i PDM są ziarnistymi modulacjami analogowymi. Uzależniony od sygnału modulującego parametr impulsowego przebiegu nośnego (amplituda, położenie, szerokość) zmienia się w sposób ciągły.

Odrębną grupę stanowią modulacje kodowe PCM[1]. Proces tworzenia sygnału PCM obejmuje dwie fazy.

W pierwszej dokonuje się próbkowania analogowego sygnału modulującego, jest to opisana wcześniej modulacja amplitudy impulsów (PAM).

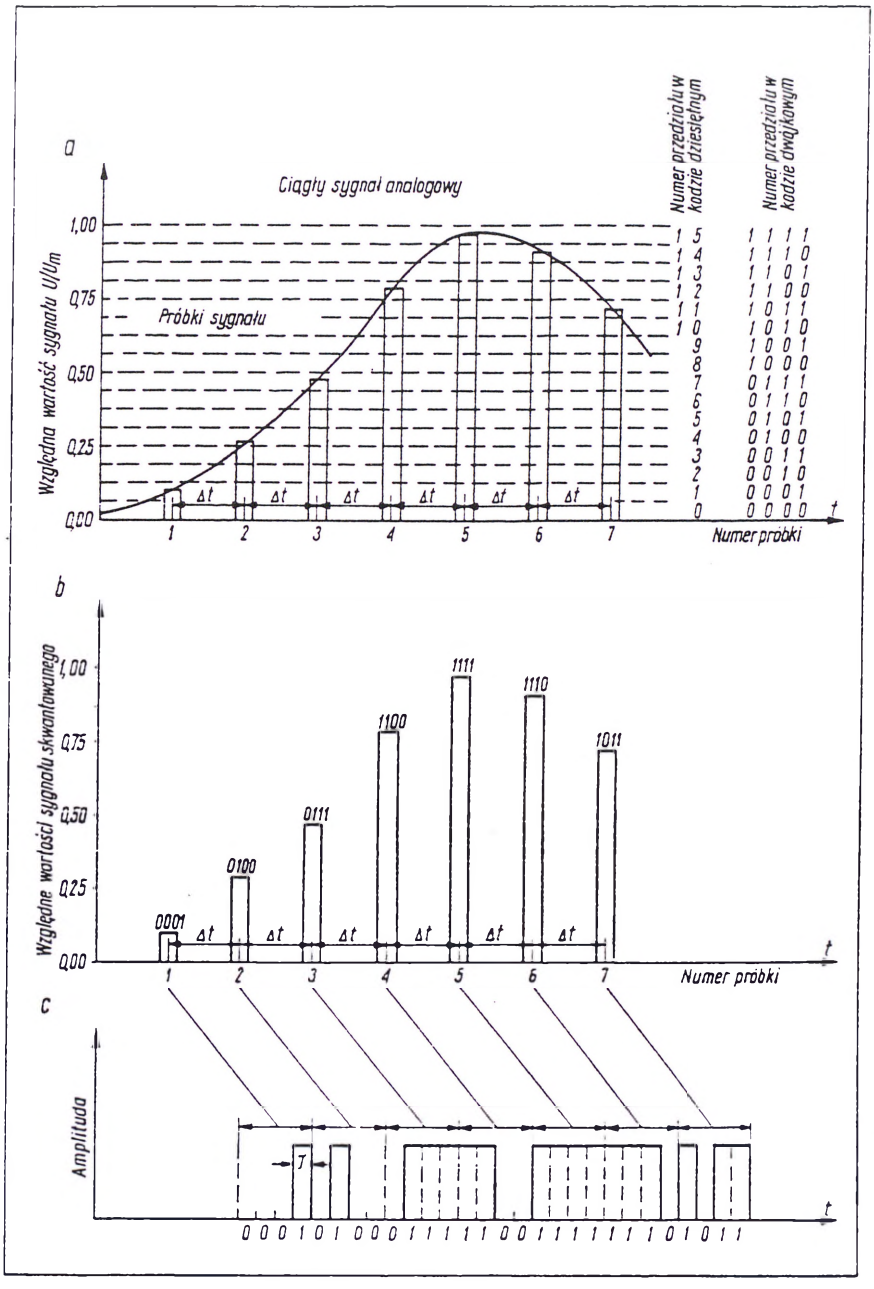
W drugiej fazie próbki ulegają skwantowaniu i zakodowaniu.

Sygnały występujące w technice impulsowej mają zawsze ograniczoną amplitudę, tzw. mogą przyjmować wartości z przedziału od 0 do U_m (sygnały przyjmujące tylko wartości dodatnie) lub od $-U_m$ do $+U_m$ (sygnały o wartości średniej równej zeru).

Dzieląc przedział zmienności sygnału na pewną liczbę części, np. 16, zwanych przedziałami kwantowania (rys. 3.20.a), zamiast przesyłać dokładną wartość próbki, przesyła się jedynie informację o numerze przedziału kwantowania, w którym znajduje się próbka. Na przykład próbka nr 1 ma wartość 0,113 U_m, której odpowiada przedział kwantowania o numerze 1, podobnie próbce nr 2 odpowiada przedział kwantowania o numerze 3 itd. Po przypisaniu każdemu przedziałowi kwantowania wartości odpowiadającej środkowi przedziału, ciąg próbek pokazany na rys. 3.20.a zostaje zastąpiony ciągiem pokazanym na rys. 3.20.b. Jest to sygnał skwantowany.

---

[1] PCM - ang. - Pulse Code Modulation - modulacja impulsowa kodowa.



Rys. 3.20. Kwantowanie i kodowanie: a) ciągły sygnał analogowy i jego próbki, b) próbki skwantowane (jako wartość próbki skwantowanej przyjęto poziom odpowiadający środkowi przedziału kwantyzacji, w którym znajduje się próbka), c) sygnał zakodowany (cyfrowy); Δt - okres próbkowania, τ - czas trwania elementarnego impulsu sygnału cyfrowego.

Numery przedziałów kwantowania zapisuje się w kodzie binarnym. Do zapisania przyjętych 16 numerów potrzebny jest zbiór czteroelementowych ciągów binarnych. W takim przypadku próbkę nr 1 zapisuje się w postaci 0001, próbkę nr 2 w postaci 0011 itd. (rys. 3.20.b). Przyjmując, że jedynkę w kodzie binarnym będzie reprezentował impuls elektryczny o czasie trwania τ, zero - brak impulsu, otrzymamy sygnał zakodowany, zwany również sygnałem cyfrowym (rys. 3.20.c).

Przesyłając zamiast rzeczywistej wartości próbki jedynie informację o przedziale kwantowania, w którym się ona znajduje, świadomie rezygnuje się z możliwości wiernego odtworzenia sygnału pierwotnego. Różnicę między sygnałem pierwotnym a jego przybliżeniem powstałym w procesie kwantowania nazywamy szumem kwantyzacji.

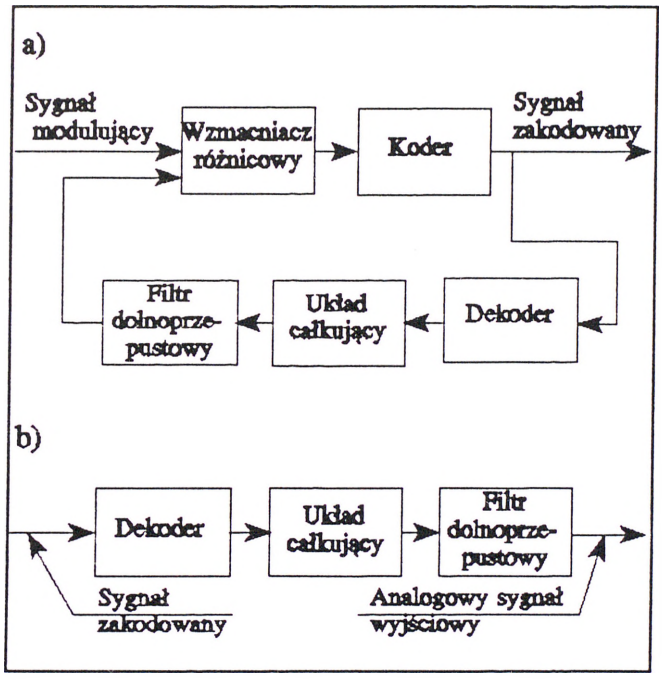
Koncepcja modulacji PCM jest znana od dawna. Pierwszy patent na jej zastosowanie w fototelegrafii zgłoszono w 1926 roku, chociaż za twórcę PCM uznaje się A.H. Reevesa, który w 1937 roku przedstawił propozycję zastosowania modulacji impulsowej kodowej do transmisji sygnałów mowy. W latach trzydziestych praktyczne zrealizowanie PCM było niemożliwe ze względu na zbyt niski poziom techniki impulsowej. Dopiero w latach sześćdziesiątych systemy te wyszły ze stadium eksperymentu do praktycznej eksploatacji. Od tego czasu obserwuje się bardzo szybki ich rozwój i rozpowszechnienie w systemach telekomunikacyjnych. Wiąże się to z niewątpliwymi zaletami modulacji PCM takimi jak:

- duża odporność na zakłócenia;
- mała wrażliwość na zmiany parametrów toru transmisyjnego;
- możliwość regeneracji impulsów, co praktycznie zapewnia stałą wartość stosunku sygnał/szum bez względu na długość toru;
- łatwość obróbki sygnału w technice cyfrowej;
- łatwność współpracy z elektronicznymi centralami komutacyjnymi.

Modulacje PCM mają też pewne wady. Największą z nich jest konieczność przenoszenia znacznie szerszego pasma częstotliwości (7-8 razy) aniżeli w systemach analogowych. Jednak wymienione zalety, w pełni rekompensują wady tych emisji.

Modulacje różnicowe polegają na kwantowaniu i kodowaniu zmian sygnału modulującego, a nie jego chwilowych wartości, jak to ma miejsce w modulacjach impulsowych kodowych.

Na rys. 3.21. przedstawiono schemat blokowy nadajnika i odbiornika w systemie z modulacją różnicową.



Rys. 3.21. System telekomunikacyjny z modulacją różnicową: a) nadajnik, b) odbiornik.

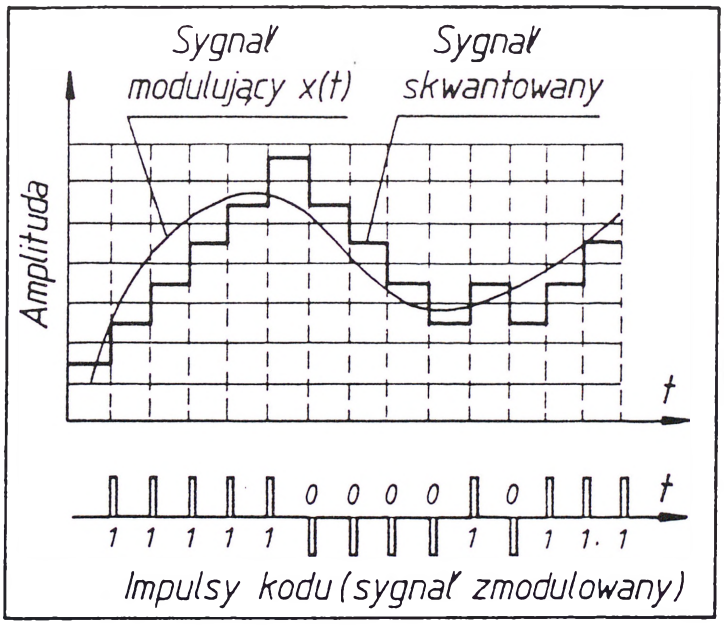
Koder i dekoder generują wspólne napięcia aproksymujące[1] sygnał modulujący. Aproksumowany sygnał jest doprowadzony do wejścia wzmacniacza różnicowego. Do drugiego wejścia tego wzmacniacza doprowadza się sygnał modulujący. Różnica sygnałów doprowadzonych do wejść wzmacniacza różnicowego podlega kwantowaniu i kodowaniu.

W najprostszym przypadku koduje się jedynie znak tej różnicy, za pomocą jednoelementowych ciągów kodowych. Jest to tzw. modulacja delta.

Jeśli w chwili próbkowania sygnał modulujący ma wartość większą niż sygnał skwantowany, to układ generuje impuls dodatni, który jest doprowadzony do układu

[1] Aproksymacja - mat. zastępowanie jednych wielkości matematycznych przez inne, bliskie im w pewnym, określonym zakresie.

całkującego, gdzie następuje zwiększenie wartości sygnału skwantowanego o szerokości przedziału kwantyzacji. W przypadku, gdy wartość sygnału modulującego jest mniejsza niż wartość sygnału skwantowanego, generuje impuls ujemny, który obniża poziom sygnału skwantowanego, o szerokości przedziału kwantyzacji. Przebiegi czasowe sygnału przy modulacji delta przedstawia rys. 3.22.



Rys. 3.22. Przebiegi czasowe sygnałów przy modulacji delta.

W procesie modulacji delta - podobnie jak przy modulacji PCM - powstaje pewien błąd, ujawniający się po stronie odbiorczej w postaci szumu kwantyzacji. Zmniejszenia tego błędu przy modulacji różnicowej, dokonuje się przez kodowanie nie tylko znaku różnicy sygnału modulującego i sygnału skwantowanego, ale także wartości tej różnicy. Wymaga to zastosowania ciągów kodowych zawierających więcej niż jeden element. Na przykład ciągi dwuelementowe umożliwiają wprowadzenie następującego stopniowania:

ciąg +1, +1 skok +3δ;[1]

ciąg +1, -1 skok +δ;

ciąg -1, +1 skok -δ;

ciąg -1, -1 skok -3δ.

Ze względu na mniejsze wymagania w odniesieniu do niezbędnej szerokości pasma przenoszenia toru teletransmisyjnego, modulacje różnicowe, zwłaszcza modulacja delta, stają się bardzo popularne i coraz szerzej wykorzystywane szczególnie w wyższych zakresach częstotliwości.

Emisje z widmem rozproszonym

Prowadzona analiza byłaby niepełna bez omówienia emisji z widmem rozproszonym[2] nazywanych także emisjami szerokopasmowymi.
Technika generacji i odbioru głównych typów sygnałów widma rozproszonego, oparta jest na badaniach Shannona[3] z dziedziny teorii informacji. Jest jedną z najbardziej rewolucjonizujących innowacji w technice komunikacyjnej ostatnich lat. Przeprowadzone badania wykazały, że pomimo praktycznego wykorzystania owych technik w systemach dowodzenia współczesnych armii, nie znajdują one odzwierciedlenia w literaturze przedmiotu, są znane jedynie wąskiemu gronu specjalistów, co uzasadnia prowadzoną analizę.

---

[1] δ - ustalona wartość przedziału kwantowania.

[2] W literaturze anglojęzycznej używana jest nazwa "Spredd-Spectrum" w skrócie "SS".

[3] SHANNON Claude Elood - ur. 1916 r., matematyk amerykański, profesor Institute of Technology, członek National Academy of Science, twórca teorii informacji. Określił zależność ilości informacji jaką można przesłać kanałem łączności o określonych parametrach:

$$I = kT\Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{Z}\right)$$

gdzie:
I - przepływność [bit/s];
k - stała charakteryzująca system przesyłania;
T - czas przesyłania informacji;
Δf - szerokość pasma kanału;
S - poziom sygnału;
Z - poziom szumu.

Przez termin "widmo rozproszone" rozumie się technikę, w której informacja w postaci cyfrowej, jest dodawana do pseudolosowej sekwencji impulsów, a wynikowy strumień bitów, zmienia jeden z parametrów fali nośnej.

Szerokość pasma częstotliwości sygnału emitowanego przez nadajnik, jest zdeterminowana użytym kodem psudolosowym, znanym uprzywilejowanym użytkownikom. Urządzenia emitujące widmo rozproszone wykorzystują kody, które są zazwyczaj ciągami linearnymi, z powodzeniem zapewniającymi utajnienie przekazywanych informacji.

W łączach wymagających wyjątkowego zabezpieczenia, stosowane są ciągi nielinearne.

Sygnał modulujący falę nośną ma zazwyczaj postać sygnału wielopoziomowego (M-poziomów) zmieniającego fazę (PSK) lub częstotliwość (FSK) tego sygnału.

Jeżeli na przykład ilość poziomów M=2, to modulator PSK zmieni fazę sygnału nośnego o O lub 180°, z częstością zdeterminowaną przez zegar generatora ciągu pseudolosowego.

Inny przykład: ilość poziomów M=256, pozwala na zmianę częstotliwości nośnej przez modulator FSK, na częstotliwość jednej z 256 ortogonalnych luk częstotliwościowych, zgrupowanych wokół spoczynkowej wartości częstotliwości nośnej, z częstotliwością - tak jak w poprzednim przykładzie - podyktowaną przez zegar generatora ciągu pseudolosowego.

Wypadkowe widmo sygnału zmodulowanego fazowo określane jest jako: widmo rozproszone o sekwencji dokładnej; natomiast modulowanego częstotliwościowo określane jest mianem: widma rozproszonego skaczącej częstotliwości[1].

Obydwa pojęcia mogą być uważane za zasadnice składniki terminu widmo rozproszone (szerokpasmowe).

Wzmocnienie użytkowe uzyskiwane przy obu rodzajach modulacji, wyraża stosunek szerokości pasma widma rozproszonego W_R do szerokości pasma sygnału podstawowego W_P.

---

[1] Nazewnictwo polskie konsulowane ze specjalistami WAT. W literaturze anglojęzycznej pojęciu widma rozproszonego o sekwencji dokładnej odpowiada - direct sequence spread spectrum, a pojęciu widma rozproszonego skaczącej częstotliwości - frequency hopped spread spectrum.

Wyrażając ten zysk energetyczny w decybelach:

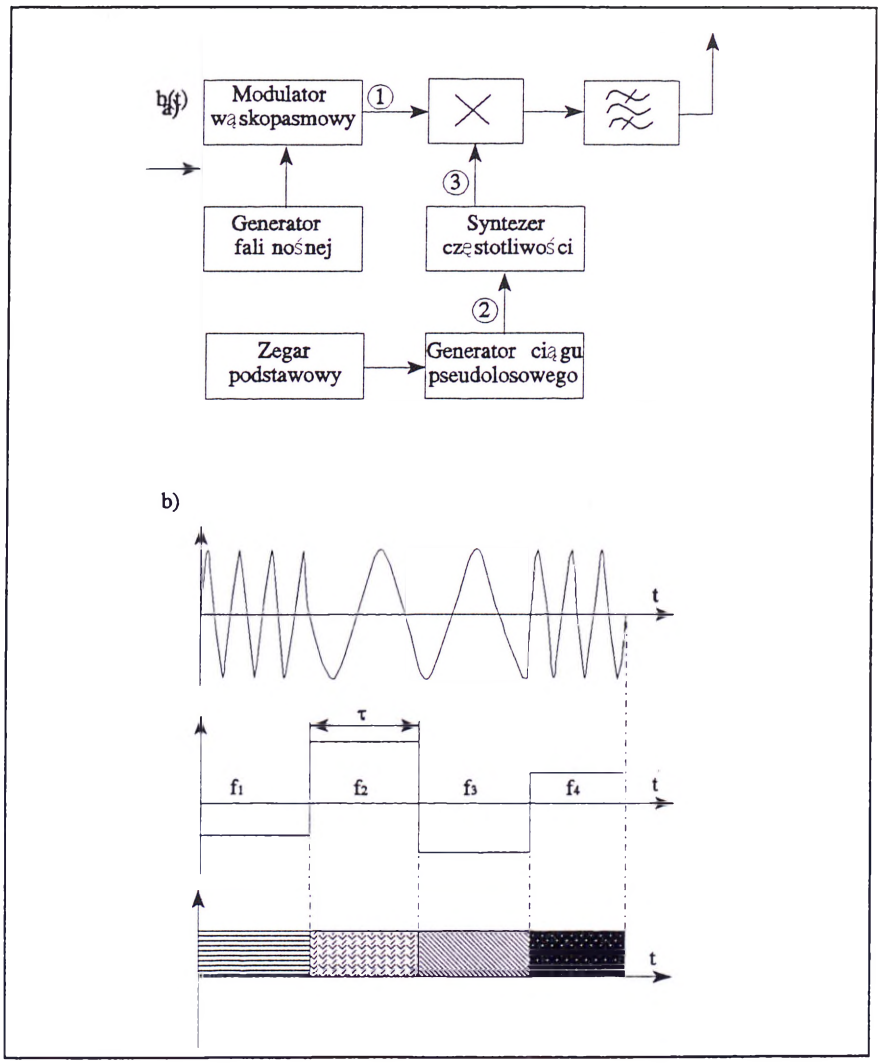
$$\text{Wzmocnienie użytkowe (dB)} = 10 \log \frac{W_R}{W_P}$$

Przykład: przy modulacji sygnałów mowy pasmo sygnału podstawowego W_P = 3000 Hz, poszerzone jest 200 krotnie, czyli W_R = 600000 Hz.

Wzmocnienie (db) = 10 log 200 = 10 x 2,3 = 23 dB.

W tym przypadku wzmocnienie użytkowe wynosi 23 dB. Ze względu na duży zysk przemiany, do przesyłania sygnałów w technice szerokopasmowej można stosować niewielkie moce nadajników.

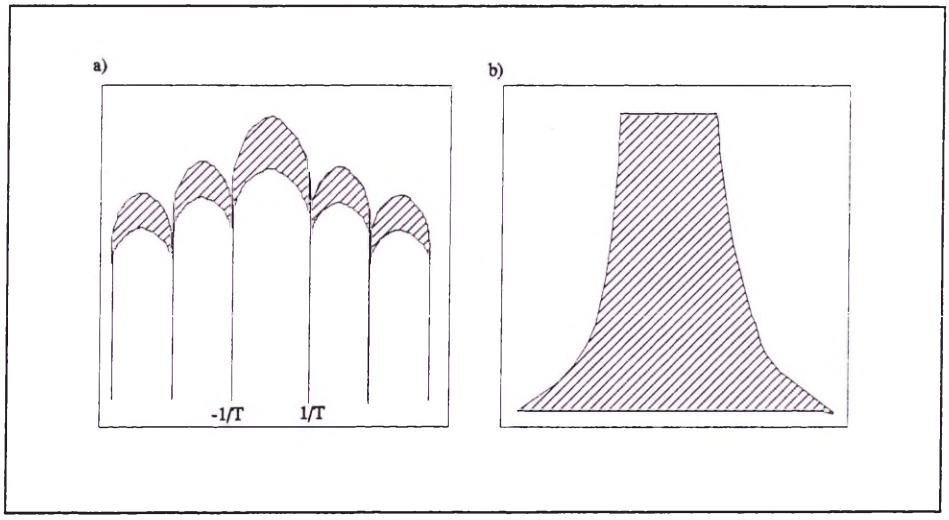
Schemat blokowy rys. 3.23. ilustruje moduły niezbędne do wytwarzania widma rozproszonego.



Rys. 3.23. Zasada wytwarzania widma rozproszonego: a) schemat blokowy, b) przebiegi czasowe sygnałów.

W układzie tym, generator liczb pseudolosowych wytwarza ciąg impulsów, których szerokość przyrostu wyznaczana jest przez zegar podstawowy. Ciąg impulsów generowany przez ten układ, jest dodawany do informacji. Uzyskany ciąg impulsów (zakładane k bitów w jednostce czasu) steruje częstotliwością lub fazą w układzie mieszacza.

Reprezentatywne zobrazowanie widma sygnału rozproszonego zmodulowanego fazowo i częstotliwościowo przedstawia rys. 3.24.



Rys. 3.24. Zobrazowanie częstotliwościowe sygnału rozproszonego: a) zmodulowanego fazowo (PSK); b) zmodulowanego częstotliwościowo (FSK).

Widma te, chociaż generowane w podobny sposób, diametralnie się różnią. Przykładowo, szerokość pasma widma z modulacją fazy (szerokość głównego garbu) jest równa podwojonej częstości zegara generatora pseudolosowego. Natomiast szerokość pasma widma z modulacją częstotliwości, zależy od iloczynu zajętych luk częstotliwościowych i ich indywidualnych szerokości pasm. Pokazana obwiednia widma fazowego uśrednia się tworząc krzywą $\sin^2 x/x^2$, podczas gdy przy modulacji częstotliwościowej przedstawia się jako uśredniona dystrybuanta energii (w funkcji częstotliwości).

Z analizy praktycznych rozwiązań wynika, że wykorzystana w nich technika widma rozproszonego w znacznym stopniu utrudni:

- poszukiwanie i wykrywanie sygnałów radiowych;

- namierzanie źródeł promieniowania;
- zakłócanie i dywersję radiową.

3.3. INTERPRETACJA KSZTAŁTU POŻĄDANEGO MODELU ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIOWYCH

Proces rozpoznania i zakłóceń składa się z trzech wyraźnie wyodrębniających się elementów funkcjonalnych:

1. Poszukiwania i wykrywania źródeł promieniujących energię elektromagnetyczną.
2. Namierzania źródeł promieniujących energię elektromagnetyczną.
3. Zakłócania informacji przekazywanych w relacjach łączności.

Proces poszukiwania i wykrywania źródeł promieniujących energię elektromagnetyczną wyrazić można stosunkiem czasu pracy źródła promieniującego energię elektromagnetyczną do czasu zużytego na jego wykrycie i identyfikowanie. Postać modelową można zatem wyrazić następującym równaniem:

$$P(W_{0i}=X_{0i}) = \frac{T_s}{\Delta f_{0i}\left(\frac{1}{\gamma} t_{0i} n_{0i}\right)} = P(W_O = X_0) = P(W_i = X_i)$$

Jeśli:

$X_{0i} \subset \langle 1, \Delta f_{0i}\, n_{0i}\rangle$ liczb $X_{0i} \subset \langle 1, [\Delta f_{0i}\, n_{0i} + 0{,}5]\rangle$

$W_0 \subset W_{0i}$
$W_i \subset W_{0i}$ gdzie $w_0 \notin W_i$; $w_i \notin W_0$

$X_{0i} \neq X_0 \neq X_i$

$n_{0i} \neq n_0 \neq n_i$

$X_{0i} = \Delta f_{0i}\, n_{0i}$

$X_i = \Delta f_{0i}\, n_i$

Gdzie:

T_s - czas trwania seansu łączności (średni czas trwania seansu łączności);

Δf_{Oi} - pasmo poszukiwania i wykrywania;

t_{Oi} - czas identyfikacji źródeł rozpoznania;

n_{Oi} - gęstość zajętości pasma przez źródła rozpoznania nie podlegające wykryciu;

n_O - gęstość zajętości pasma przez źródła rozpoznania nie podlegające wykryciu;

n_i - gęstość zajętości pasma przez źródła rozpoznania podlegające wykryciu.

Wprowadzając dodatkowe oznaczenia:

T_{Oi} - czas zużyty na poszukiwanie i wykrywanie Δf_{Oi} n_{Oi} źródeł rozpoznania w paśmie Δf_{Oi}

T_O - czas zużyty na poszukiwanie i wykrywanie Δf_{Oi} n_O źródeł rozpoznania w paśmie Δf_{Oi}

T_i - czas zużyty na poszukiwanie i wykrywanie Δf_{Oi} n_i źródeł rozpoznania w paśmie Δf_{Oi}

wartości bezwzględne czasów można wyrazić w postaci:

$$T_{0i} = \Delta f \left(\frac{1}{\gamma} + t_{0i} n_{0i} \right) = \Delta f_{0i} \left(\frac{1}{\gamma} + t(n_o + n_1) \right)$$

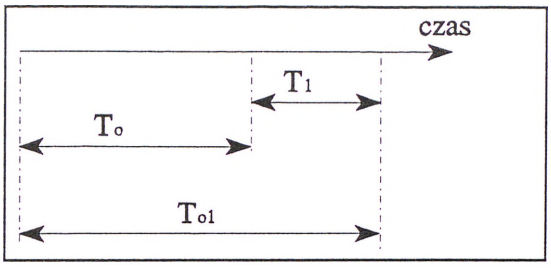
$$T_0 = \Delta f_{0i} \left(\frac{1}{\gamma} + t_{0i} n_0 \right)$$

$$T_i = \Delta f_i \left(\frac{1}{\gamma} + t_{oi} n_i \right)$$

gdzie :

$T_{0i} = T_0 = T_i$

to na osi czasu obraz tego przedstawia się następująco:



z tym jednak, że źródła rozpoznania $\Delta f_{Oi}\, n_O$ oraz $\Delta f_{Oi}\, n_i$ pojawiają się losowo w funkcji czasu.

Zatem zależność tych wzorów można wyrazić:

$$\frac{T_o}{T_{0i}} + \frac{T_i}{T_{0i}} = 1$$

co oznacza, że na poszukiwanie i wykrywanie $\Delta f_{Oi}\, n_O$ źródeł rozpoznania zużyte zostało $\frac{T_0}{T_{Oi}}$ ogólnego czasu T_{Oi}, a na poszukiwanie i wykrywanie $\Delta f_{Oi}\, n_i$ źródeł rozpoznania $\frac{T_i}{T_{Oi}}$ czasu z przedziału T_{Oi}. W konsekwencji tego w czasie T_O upłynęło $\frac{T_s T_i}{T_{Oi}}$ seansu emisji źródła rozpoznania, co jest prawdziwe, ponieważ:

$$\frac{T_s T_0}{T_{0i}} + \frac{T_s T_i}{T_{0i}} = \frac{T_s T_0 + T_s T_i}{T_{0i}} = \frac{T_s (T_0 + T_i)}{T_{0i}} = \frac{T_s T_{0i}}{T_{0i}} = T_s$$

Z a t e m
wartość prawdopodobieństwa można wyrazić zależnością:

$$P(W_{0i}=X_{0i}) = \frac{T_s}{T_{0i}}$$

$$P(W_0=X_0) = \frac{\frac{T_s T_0}{T_{0i}}}{T_0} = \frac{T_s T_0}{T_{0i} T_0} = \frac{T_s}{T_{0i}}$$

$$P(W_i=X_i) = \frac{\frac{T_s T_i}{T_{0i}}}{T_i} = \frac{T_s T_i}{T_{0i} T_i} = \frac{T_s}{T_{0i}}$$

co jest wystarczającym dowodem, że:

$P(W_{0i} = X_{0i}) = P(W_0 = X_0) = P(W_i = X_i)$

Dlatego też ogólny wzór na prawdopodobieństwo poszukiwania i wykrywania można wyrazić w postaci:

$$P(W=X_i) = \frac{T_s}{\Delta f_{0i}\left(\frac{1}{\gamma} + t_{0i} n_{0i}\right)} = P$$

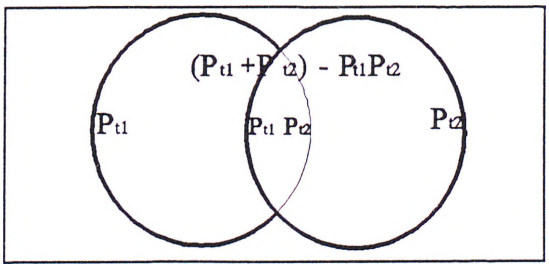
gdzie:

X_i jest zbiorem wartości $< 1, [\ \Delta f_{0i}\ n_{0i} + 0{,}5\ ] > 1 \geq X_i = (\ \Delta f_{0i}\ n_{0i} + 0{,}5\ )$

Powyższe równanie jest prawdziwe, jeśli dane źródło promieniowania energii elektromagnetycznej (np. radiostacja) pracować będzie tylko w jednym seansie. Jeśli natomiast tych seansów będzie "m", wtedy możliwości poszukiwania i wykrywania wyrażają się zależnością:

$$P(W=X_i) = \sum_{k=1}^{m} (-1)^{k+1} \binom{m}{k} p^k$$

Oznacza to, że na przykład w czasie dwóch seansów emisji sygnału danego źródła promieniowania elektromagnetycznego, prawdopodobieństwo jego wykrycia będzie równe sumie zdarzeń jego wykrycia w pierwszym i drugim seansie pomniejszonej o iloczyn tych zdarzeń (patrz rysunek).



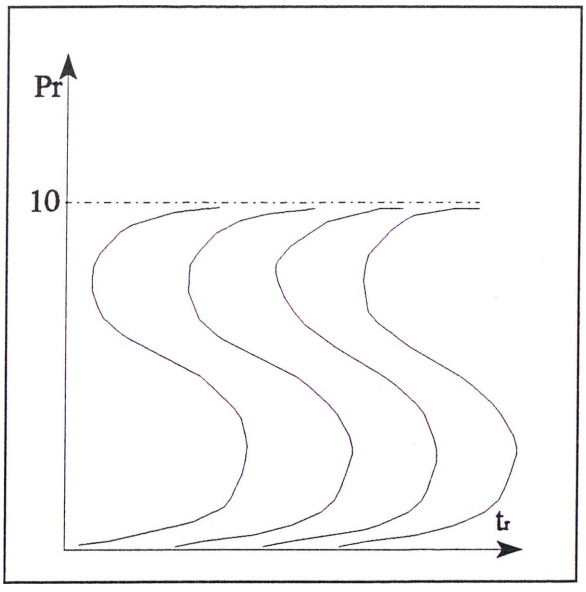
Gdzie:

P_{t1} - prawdopodobieństwo wykrycia źródła w pierwszym seansie emisji sygnału;

P_{t2} - prawdopodobieństwo wykrycia źródła w drugim seansie emisji sygnału.

Ponadto można wykazać, że prawdopodobieństwo rozpoznania, określone przez prawdopodobieństwo wykrycia sygnału w szumach i prawdopodobieństwo

identyfikacji urządzenia (Pr), traktowane jako funkcja czasu rozpoznania (tr) ma przebieg zgodny z krzywymi przedstawionymi na rys. 3.25.



Rys. 3.25. Zależność prawdopodobieństwa rozpoznania radiowego od czasu rozpoznawania

Parametrem rodziny krzywych może być np. stosunek mocy rozpoznawanego sygnału do mocy szumu. Przytoczone krzywe uwzględniają również fakt, że rozpoznawane źródła, są włączone na krótki okres czasu.

Z powyższego wynika, że związki i zależności występujące w modelowym procesie poszukiwania i wykrywania radiowego można skonstatować następującymi wnioskami:

1. Proces poszukiwania i wykrywania radiowego warunkowany jest pięcioma zmiennymi, jeśli poszukiwane źródła pracować będą tylko w jednym seansie emisji. Do zmiennych tych należą:

a) czas trwania seansu promieniowania sygnału elektromagnetycznego;

b) szerokość pasma poszukiwania i wykrywania przydzielona na jedno urządzenie rozpoznawcze;

c) szybkość przeszukiwania przydzielonego pasma częstotliwości;

d) czas identyfikacji poszukiwanego źródła promieniowania elektromagnetycznego;

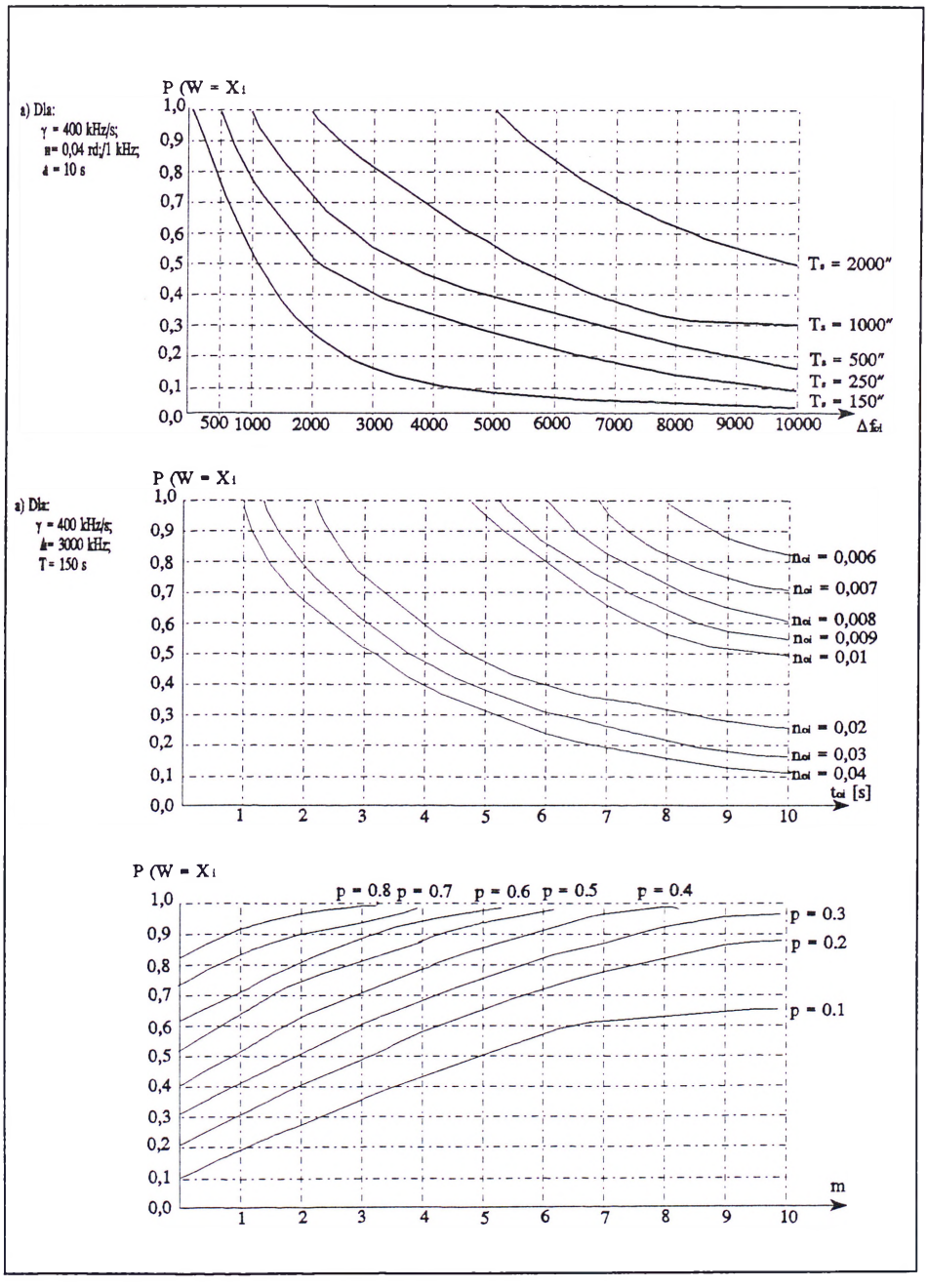
e) gęstość zajętości pasma przydzielonego na urządzenie rozpoznawcze.

Jeśli natomiast źródła promieniowania elektromagnetycznego podlegające poszukiwaniu i wykrywaniu, pracować będą nie w jednym ale w "m" seansach emisji sygnału, wtedy liczba zmiennych powiększa się jeszcze o tę wartość.

2. W procesie poszukiwania i wykrywania, trzy zmienne są niezależne od organizatorów tego procesu i trzy są od nich zależne.

Od organizatorów procesu poszukiwania i wykrywania nie zależy gęstość zajętości pasma, liczba seansów emisji sygnałów elektromagnetycznych i czas ich trwania. Mają oni natomiast wpływ na kształtowanie wielkości pasm przydzielanych na jedno urządzenie rozpoznawcze, szybkość przeszukiwania przydzielonych pasm częstotliwości i czas identyfikacji wykrytych źródeł promieniowania elektromagnetycznego.

3. Wpływ poszczególnych zmiennych na proces poszukiwania i wykrywania przedstawia rys. 3.26.



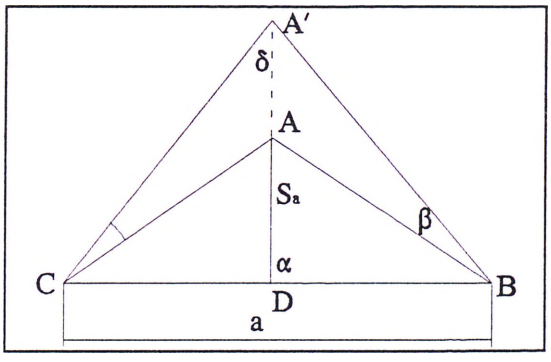
Rys. 3.26. Wpływ poszczególnych zmiennych na proces poszukiwania i wykrywania.

4. Zmienne niezależne od organizatorów są podstawowymi wyznacznikami kryteriów rozwoju odbiorczej aparatury rozpoznawczej, a zmienne zależne są wyznacznikami kryteriów procesu rozpoznania.

5. W procesie badań urządzeń rozpoznawczych (pozorowania sytuacji radioelektronicznej) wszystkie zmienne są zależne od organizatorów rozpoznania i powinny być tak kształtowane, aby pozwalały na wszechstronne zbadanie aparatury rozpoznawczej z jednej strony, z drugiej zaś - aby były jak najbardziej zbliżone do wartości oczekiwanych w sytuacji bojowej.

6. W warunkach rzeczywistej pracy bojowo-rozpoznawczej czas trwania seansów emisji sygnałów elektromagnetycznych i liczba tych seansów są trudne do ustalenia. Z tego też względu do obliczeń kalkulacyjnych należy przyjmować wartości szacunkowe, ustalane empirycznie w procesie wcześniej prowadzonego rozpoznania pasm częstotliwości.

Model procesu namierzania źródeł promieniujących energię elektromagnetyczną, w ujęciu matematycznym, odzwierciedlają następujące zależności
Niech ΔCAB i ΔCAB stanowią ekwiwalent usytuowania pary namierników



gdzie:

punkt C oznacza miejsce położenia namiernika nr 1;
punkt B oznacza miejsce położenia namiernika nr 2;
punkt D oznacza środek podstawy namierzania;
odcinek CB = a oznacza długość podstawy namierzania;
odcinek DA = S_a oznacza odległość namierzania;
punkt A oznacza rzeczywiste położenie źródła;
kąt γ oznacza błąd kątowy namiernika nr 1;
kąt β oznacza błąd kątowy namiernika nr 2;
kąt α oznacza kąt nachylenia podstawy namierzania;
punkt A oznacza miejsce położenia źródła ustalone w wyniku namierzania;
odcinek A'A oznacza błąd liniowy namierzania;

to:

$z\ \Delta\ ABD \quad (1) \quad AB^2 = S_a^2 + \frac{a^2}{4} - aS_a\cos\alpha$

$z\ \Delta\ ACD \quad (2) \quad AC^2 = S_a^2 + \frac{a^2}{4} + aS_a\cos\alpha$

$z\ \Delta\ ABD \qquad \frac{AB}{\sin\alpha} = \frac{S_a}{\sin\beta'}$

$z\ \Delta\ ADC \qquad \frac{AC}{\sin\alpha} = \frac{S_a}{\sin\gamma'}$

Stąd:

$$(3) \quad \sin\beta' = \frac{S_a}{AB}\sin\alpha$$

oraz:

$$(4) \quad \sin\gamma' = \frac{S_a}{AC}\sin\alpha$$

Ponadto:

$$(5) \quad \delta = 180° - [(\beta + \beta') + (\gamma + \gamma')]$$

$$z\ \Delta\ ABC \qquad \frac{A'B}{\sin(\gamma + \gamma')} = \frac{A'C}{\sin(\beta + \beta')} = \frac{a}{\sin\alpha}$$

Stąd:

$$(6) \quad A'B = \frac{a}{\sin\delta}\sin(\gamma + \gamma')$$

Oraz:

$$(7) \quad A'C = \frac{a}{\sin\delta}\sin(\beta + \beta')$$

Obliczając teraz z twierdzenia cosinusów dla **Δ** ABD i **Δ** ACD wartości cos ***β***' i cos***γ***'

$$z\ \Delta\ ABD \qquad S_a^2 = \frac{a^2}{4} + AB^2 - a\,AB^2\cos\beta'$$

$$\cos\beta' = \frac{1}{aAB}\left(\frac{a^2}{4} + AB^2 - S_a^2\right)$$

$z\ \Delta\ ACD$ $$S_a^2 = \frac{a^2}{4} + AC^2 - aAC\cos\gamma'$$

$$\cos\gamma' = \frac{1}{aAC}\left(\frac{a^2}{4} + AC^2 - S_a^2\right)$$

Po podstawieniu wzorów (1) i (2) otrzymuje się:

$$(8)\quad \cos\beta' = \frac{1}{AB}\left(\frac{a}{2} - S_a\cos\alpha\right)$$

$$(9)\quad \cos\gamma' = \frac{1}{AC}\left(\frac{a}{2} + S_a\cos\alpha\right)$$

Ze wzorów (3), (4), (8), (9) oblicza się:

$$\sin(\beta + \beta') = \frac{1}{AB}\left[\sin\beta\left(\frac{a}{2} - S_a\cos\alpha\right) + S_a\sin\alpha\cos\beta\right]$$

$$\cos(\beta + \beta') = \frac{1}{AB}\left[\cos\beta\left(\frac{a}{2} - S_a\cos\alpha\right) + S_a\sin\alpha\cos\beta\right]$$

$$\sin(\gamma + \gamma') = \frac{1}{AB}\left[\sin\gamma\left(\frac{a}{2} + S_a\cos\alpha\right) + S_a\cos\gamma\right]$$

$$\cos(\gamma + \gamma') = \frac{1}{AB}\left[\cos\gamma\left(\frac{a}{2} + S_a\cos\alpha\right) + S_a\sin\alpha\cos\gamma\right]$$

Stąd wynikają kolejne wzory:

$$\sin(\beta + \beta') = \frac{1}{AB}\left\{\frac{a}{2}\sin\beta + S_a\sin(\alpha - \beta)\right\}$$

$$\sin(\beta + \beta') = \frac{1}{AB}\left\{\frac{a}{2}\cos\beta - S_a\cos(\alpha - \beta)\right\}$$

$$\sin(\gamma + \gamma') = \frac{1}{AC}\left\{\frac{a}{2}\sin\gamma + S_a\sin(\alpha + \gamma)\right\}$$

$$\cos(\gamma + \gamma') = \frac{1}{AC}\left\{\frac{a}{2}\cos\gamma + S_a\cos(\alpha + \gamma)\right\}$$

Dalej oblicza się:

$$\sin\delta = \sin(180° - (\beta + \beta' + \gamma + \gamma')) =$$

$$(11) \quad = \frac{1}{AB\ AC}\left\{\frac{a^2}{2}\sin(\beta+\gamma) + S_a^2\sin(\beta+\gamma) + \frac{aS_a}{2}(\sin(\alpha+\beta+\gamma) + \sin(\alpha-\beta-\gamma))\right\} =$$

$$= \frac{1}{AB\ AC}\left\{\left(\frac{a^2}{4} - S_a^2\right)\sin(\beta+\gamma) + aS_a\sin\alpha\cos(\beta+\gamma)\right\}$$

Teraz podstawiając do wzorów (6) i (7) wzory (10) i (11) otrzymuje się:

$$A'B = \frac{a\left(\frac{a}{2}\sin\gamma + S_a\sin(\alpha+\gamma)\right)}{\left(\frac{a^2}{4} - S_a^2\right)\sin(\beta+\gamma) + aS_a\sin\alpha\cos(\beta+\gamma)}\ AB$$

$$A'C = \frac{a\left(\frac{a}{2}\sin\beta + S_a\sin(\alpha+\gamma)\right)}{\left(\frac{a}{2} - S_a^2\right)\sin(\beta+\gamma) + S_a\sin\alpha\cos(\beta+\gamma)}\ AC$$

Zatem wartość A'A można obliczać:

z Δ A'AB

$$(12) \quad A'A^2 = A'B^2 + AB^2 - 2A'B\ AB\cos\beta$$

$$A'A^2 = A'C^2 + AC^2 - 2A'C\ AC\cos\gamma$$

Ponieważ obydwa wzory są równoważne. Wprowadzając teraz oznaczenia:

$$X_b = \frac{a\left(\frac{a}{2}\sin\gamma + S_a\sin(\alpha+\gamma)\right)}{\left(\frac{a^2}{4} - S_a^2\right)\sin(\beta+\gamma) + aS_a\sin\alpha\cos(\beta+\gamma)}$$

$$X_c = \frac{a\left(\frac{a}{2}\sin\beta + S_a\sin(\alpha-\beta)\right)}{\left(\frac{a}{2} - S_a^2\right)\sin(\beta+\gamma) + S_a\sin\alpha\cos(\beta+\gamma)}$$

otrzymuje się: A'B = X_b AB oraz A'C = X_c AC, co po podstawieniu do wzorów (11) i (12) pozwala je wyrazić w postaci:

$$A'A^2 = AB^2\left(X_b^2 + 1 - 2X_b\cos\beta\right)$$

$$A'A^2 = AC^2\left(X_c^2 + 1 - 2X_c\cos\gamma\right)$$

gdzie wielkości AB^2 i AC^2 dane są wzorami (1) i (2).

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wartość liniowa błędu namierzania A'A dla pary namierników determinowana jest:

1) błędem kątowym namiernika nr 1 (γ);

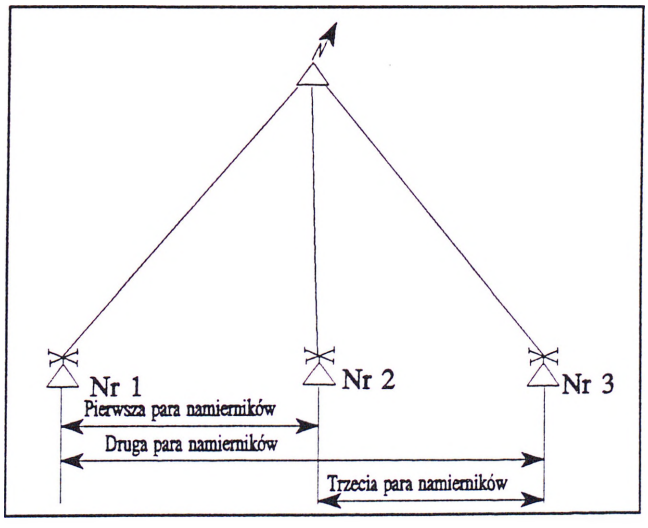
2) błędem kątowym namiernika nr 2 (β);

3) podstawą namierzania (a);

4) odległością namierzania (S_a);

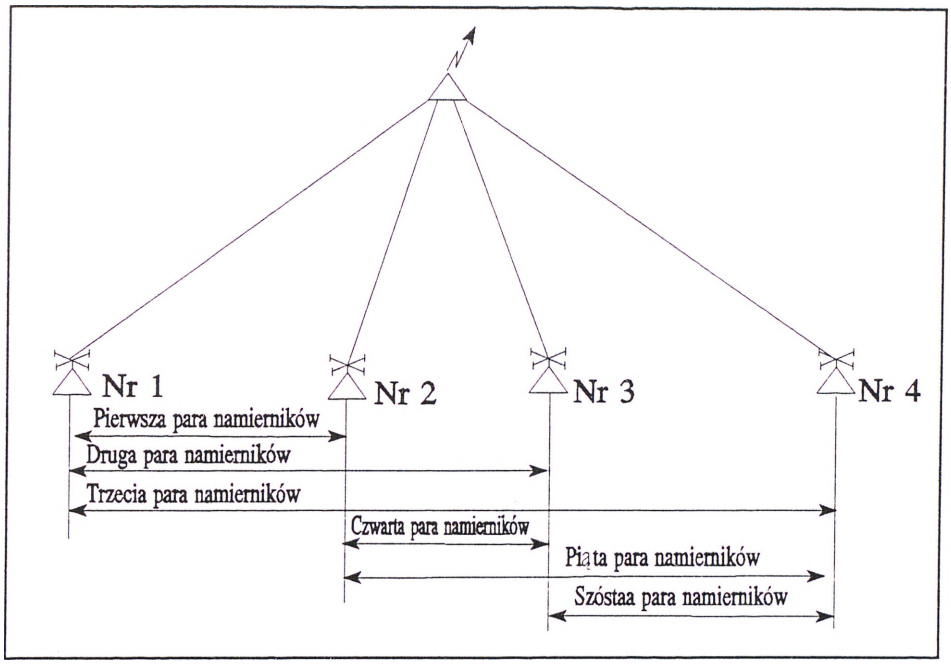
5) kątem nachylenia podstawy namierzania (α).

Sieć namierzania składa się zwykle nie z dwóch, ale z większej liczby namierników. Dlatego też wynik finalny namierzania obciążony jest nie tylko jednym błędem liniowym, ale tyloma ile w danej sieci powstanie kombinacji par namierników. Na przykład w sieci składającej się z trzech namierników rozwiniętych w linię, istnieć będą 3 pary namierników (rys. 3.27.).



Rys. 3.27. Kombinacja par namierników w sieci trójnamiernikowej.

W sieci składającej się z czterech namierników rozwiniętych w linię, par namierzających będzie już sześć (rys. 3.28.).



Rys. 3.28 Kombinacja par namierników w sieci czteronamiernikowej.

Dla "n" namiernikowej sieci usytuowanej w linię, liczba kombinacji par namierników wynosić będzie:

$$\binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!}$$

Z takiej też liczby namiarów elementarnych (poszczególnych par namierników) składać się będzie wynik finalny namierzania "n" namiernikowej sieci. Każdy z tych namiarów elementarnych obciążony będzie błędem liniowym właściwym danej parze namierników, to znaczy wynikającym z ich błędów kątowych (β) i (γ) oraz z ich podstaw namierzania "a", odległości namierzania S_a i kąta nachylenia podstaw namierzania (α).

Oznaczając błąd liniowy sieci namierzania symbolem "L_s", a błędy liniowe namiarów elementarnych (oznaczone dotychczas przez A'A), odpowiednio przez: L_{s1}; l_{s2}; ...; l_{si}, ..., l_{sm}; wynik finalny "n" namiernikowej sieci namierzania można wyrazić zapisem:

$$L_a = \begin{cases} l_{a1} = a_1 \ [km] \\ l_{a2} = a_2 \ [km] \\ l_{ai} = a_i \ [km] \\ l_{am} = a_m \ [km] \end{cases}$$

gdzie:

$$m = \binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!}$$

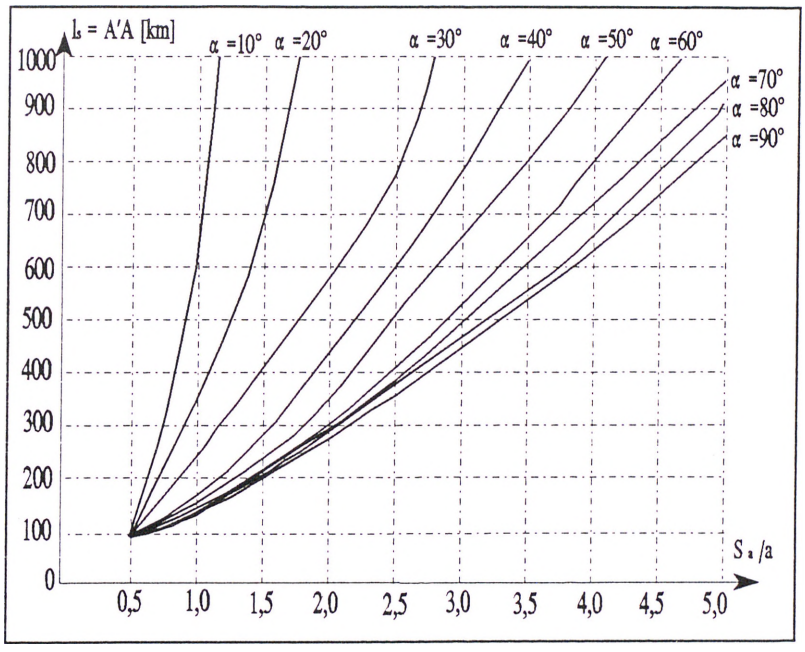
Przy stałej odległości namierzania (S_a = const) i stałych wartościach błędów kątowych namierników ($\beta = \gamma$ = const), zależność wielkości błędu liniowego namiaru elementarnego od zmian wartości podstawy namierzania "a" i kąta jej nachylenia α przedstawia się następująco (patrz tabela 3.1. i wykres rys. 3.29.).

Tabela 3.1.

Zależność wielkości błędu liniowego namiaru elementarnego od zmian wartości podstawy namierzania "a" i kąta jej nachylenia α

Dla: S_a = 800 km = const; $\beta = \alpha = 3^\circ$ = const

l_a = A'A [km]										
$\frac{S_a}{a}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
α	a=1600	a=800	a=533	a=400	a=320	a=267	a=229	a=200	a=178	a=160
90°	88	117	165	224	294	376	472	586	722	889
80°	88	118	167	228	300	384	483	601	743	917
70°	88	120	174	240	318	409	518	650	812	1014
60°	88	125	188	262	352	460	590	753	952	1227
50°	87	134	209	302	414	554	731	962	1273	1720
40°	87	149	250	376	537	750	1043	1471	2157	3436
30°	86	182	355	542	835	1290	2093	3886	11473	∞
20°	85	265	576	1110	2278	6982	∞	∞	∞	∞
10°	84	686	3384	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞



Rys. 3.29. Wykresy dla: S_a = 800 km= = const; β= γ=3° = const;

Z analizy błędu liniowego namiaru elementarnego wynika, że przy:

S_a/a = const; α = const; β = const; γ = const;

funkcja ta ma przebieg liniowy. Na przykład przy wartościach: β = γ = 3° = const; α = 90° = const i skokowo zmieniającym się co 0,5 stosunku, jej obraz będzie następujący (patrz tabela 3.2 i wykres (rys. 3.30).

Wykorzystując tę właściwość funkcji (jej liniowość) błąd liniowy namiaru elementarnego "l_s" można zinterpretować zapisem: $l_s = tg\varphi\, S_a$ gdzie kąt φ obrazuje nachylenie błędu namiaru elementarnego "l_s" do osi zmiennej niezależnej "S_a".

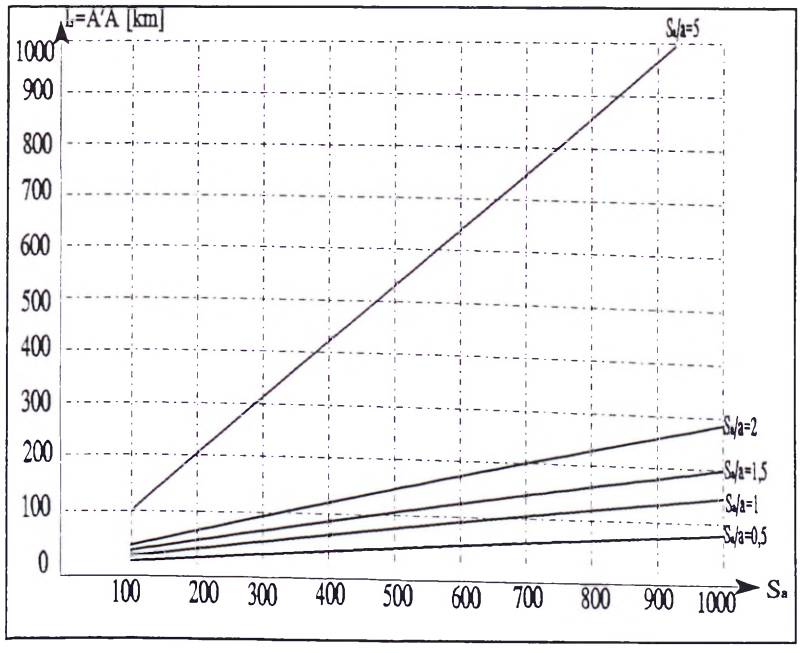
Wprowadzone pojęcia i przedstawiona interpretacja będą ułatwiać powiązanie różnorodnych zadań rozpoznawczych dotyczących pomiarów i kontroli emisji elektromagnetycznych oraz umożliwią jednolite jej ujęcie, co jest elementem niezbędnym przy próbach standaryzacji tych zadań i usprawnieniu ich realizacji.

Tabela 3.2.

Zależność wielkości błędu liniowego namiaru elementarnego od zmian wartości podstawy namierzania "a" i kąta jej nachylenia α

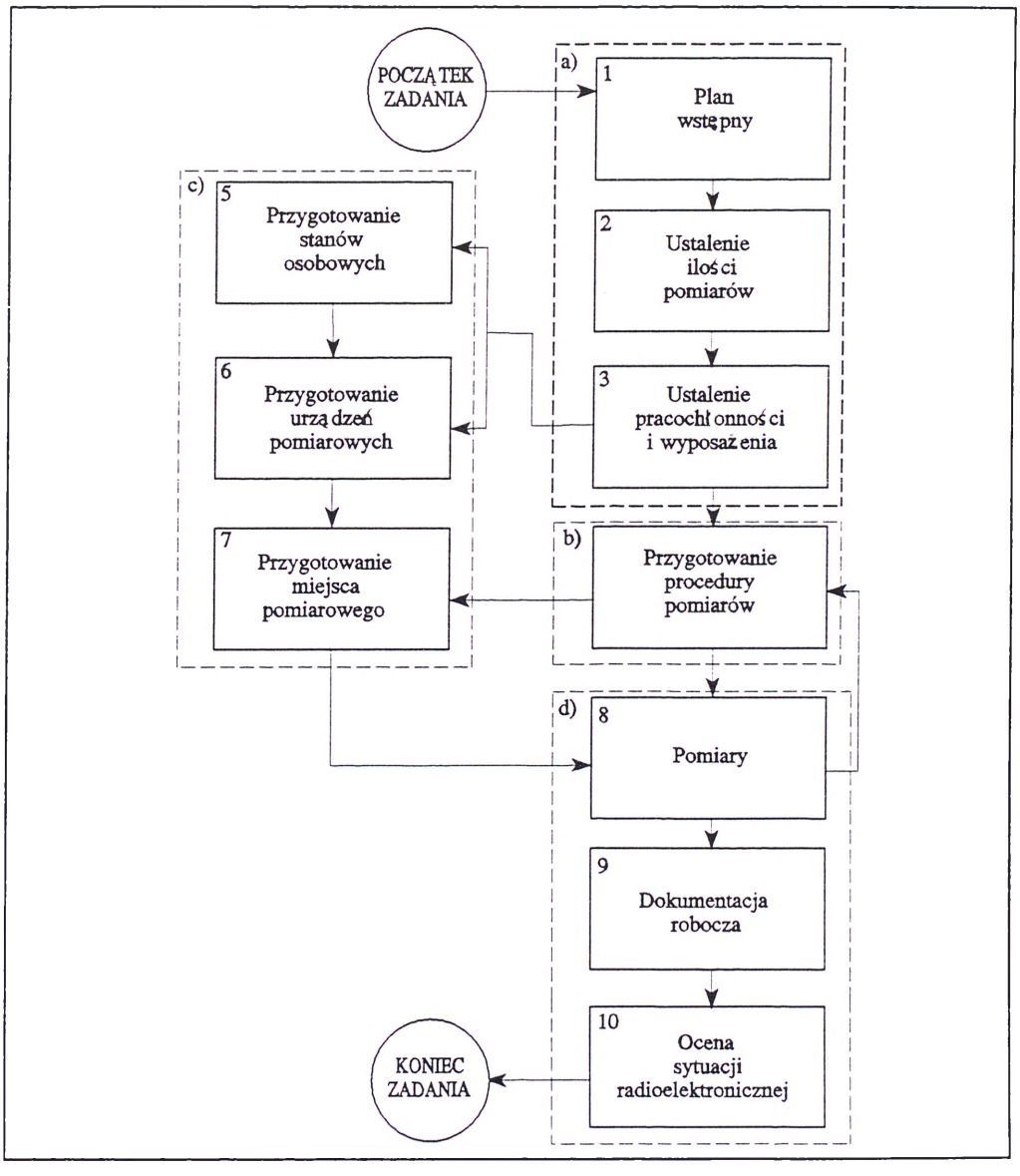
Dla: S_a = 100 - 700 km; $\beta = \gamma = 3^o$; $\alpha = 90^o$ = const ;

$\frac{S_a}{a}$ \ S_a	100	200	300	400	500	600	700
0,5	11,1	22,2	33,3	44,4	55,5	66,6	77,7
1,0	14,6	29,6	43,9	58,5	73,2	87,9	102,5
1,5	20,7	41,5	62,2	82,9	103,6	124,4	145,1
2,0	28,0	56,0	84,0	112,0	140,0	168,0	196,0
5,0	111,2	222,4	333,6	444,8	556,0	667,2	778,4



Rys. 3.30. Wykresy dla $\beta = \gamma = 3^o$; S_a/a = 0,5; 1,0; ...; 5,0; $l_s = A'A = f\left(\frac{S_a}{a}\right)$

Metody pomiarów poszczególnych parametrów środowiska elektromagnetycznego nie będą tu omawiane, warto jednak zastanowić się nad procesami realizacji typowego zadania pomiarowego. Posługując się rys. 3.31. można



Rys. 3.31. Schemat czynności przy realizacji zadania pomiarowego.

wyróżnić trzy zasadnicze części zadania pomiarowego:

- koncepcyjno-decyzyjną (a i b);
- przygotowawczą (c);

- wykonawczą (d).

W skład pierwszej z nich wchodzi planowanie wstępne (1), mające na celu ustalenie rodzaju pomiarów, liczby badanych parametrów lub obiektów oraz ustalenie miejsca i czasu trwania pomiarów. Na podstawie tych ustaleń możliwe jest planowanie liczby pomiarów i parametrów (2) (częstotliwość, rodzaj emisji itp.). Stąd wynika niezbędne wyposażenie kontrolno-pomiarowe i pracochłonność (3). Na tym etapie powinien być wyważony koszt przedsięwzięcia; bowiem zadania pochłaniają więcej lub mniej czasu i środków finansowych, zależnie od zastosowanego wyposażenia. Na przykład przy pełnej automatyzacji modelu pracochłonność jest znikoma, natomiast duży jest koszt aparatury. Przeciwnie przy modelu "klasycznym" - pracochłonność pomiarów jest na ogół duża, przy stosunkowo małych kosztach aparatury. Jednak w drugim przypadku należy się liczyć z ograniczonymi możliwościami technicznymi i czasowymi, czego dobitnym przykładem jest obecnie funkcjonujący model.

Na następnym etapie (4) należy ustalić procedurę pomiarów i ich szczegółowy program (z uwzględnieniem wzorcowania) oraz ustalić formularz pomiarowy, przyspieszający i ułatwiający prace wykonawcze. Na tym etapie należy sprecyzować wszystkie istotne szczegóły pomiarów.

Z kolei następują prace przygotowawcze (5, 6, 7) i wykonawcze (8, 9, 10). Na rysunku uwidoczniono także "sprzężenie zwrotne", ilustrujące obserwowaną często w praktyce konieczność ewentualnej modyfikacji procesu pomiarowego, zależnie od uzyskanych rezultatów cząstkowych.

Opisane postępowanie powtarza się w zasadzie dla każdego zadania pomiarowego oddzielnie. Możliwości usprawnienia realiacji tych zadań, powinny iść w dwu kierunkach: standaryzacji zadań lub ich fragmentów oraz w kierunku automatyzacji czynności wykonawczych (8, 9, 10).

W związku z wprowadzeniem nowoczesnych systemów telekomunikacyjnych, wykorzystujących sygnały dyskretne oraz inne omówione rodzaje zabezpieczeń, podstawowego znaczenia nabierają pomiary pierwotnych parametrów sygnałów, jakimi są gęstość widmowa i charakterystyki czasowe wraz z ich statystycznymi rozkładami.

Należy bowiem pamiętać, że stan środowiska elektromagnetycznego w istocie może być poprawnie opisany tylko w terminach statystycznych, tj. przez podanie odpowiednich rozkładów prawdopodobieństw. Liczba czynników decydujących o wynikach pomiarów jest bowiem tak duża, że opis deterministyczny byłby zbyt skomplikowany. Programy komputerowe obsługujące przyszły model, powinny więc operować rozkładami i prawdopodobieństwami przestrzenno-czasowymi.

Obezwładnianie radiowe.

"Najwyższy stopień dezorganizacji systemów dowodzenia wojskami i kierowania środkami walki uzyskuje się wówczas, gdy obiekty radioelektroniczne przeciwnika obezwładniane są jednocześnie ogniem i zakłóceniami radioelektronicznymi (przy równoczesnym stosowaniu dywersji radiowej)"...[1]

Kolejnym kluczowym przedsięwzięciem, które należałoby uwzględnić przy przebudowie modelu jest problem obezwładniania radiowego. Obecnie funkcjonujący model dysponuje środkami umożliwiającymi prowadzenie zakłóceń i dywersji radiowej w klasycznych wąskopasmowych, relacjach zakresu krótkofalowego (1,5-25.5 MHz) oraz ultrakrótkofalowego (20-100 i 220-380 MHz).

Model procesu zakłóceń radiowych w ujęciu matematycznym odzwierciedlają następujące zależności:

Niech:

P_z - oznacza niezbędną moc nadajnika stacji zakłócającej;

P_s - moc radiostacji nadającej;

R_s - odległość między współpracującymi radiostacjami;

R_z - odległość między stacją zakłócającą a radiostacją zakłóconą;

G_z - zysk antenowy stacji zakłócającej;

G_s - zysk antenowy radiostacji nadającej;

K_z - współczynnik zakłóceń,

to moc niezbędną do zakłócenia naziemnych relacji radiowych można obliczyć ze wzoru:

---

[1] H. PIEKARSKI: "Założenia i zasady walki radioelektronicznej". Podręcznik cz. I, ASG WP, wewn. 3418/78, s. 30.

$$(1) \qquad P_z = \frac{P_s R_s^4 G_s K_z^2}{R_z^4 G_z}$$

Odległość R obliczyć można ze wzoru:

$$(2) \qquad R_z = R_s \sqrt[4]{\frac{P_z G_z}{P_s G_s K_z}}$$

W stosunku do realcji łączności ultrakrótkofalowej wojsk lotniczych (220-380 MHz) wzór na niezbędną moc zakłóceń ma postać:

$$(3) \qquad P_z = \frac{P_s R_s^2 G_s K_z}{R_z^2 G_z}$$

Wartość degradacji łącza radiowego zależy od rodzaju zakłócenia i jego chartakterystyk widmowych, stopnia rozstrojenia sygnału zakłócającego w stosunku do częstotliwości rezonansowej zakłócanego urządzenia odbiorczego oraz od rodzaju modulacji zastosowanej w urządzeniu łączności.

Pracę urządzeń łączności można zakłócić następującymi ich rodzajami:

- zakłóceniem z szumową modulacją amplitudy;
- zakłóceniem z szumową modulacją częstotliwości i fazy;
- chaotycznymi i uporządkowanymi zakłóceniami impulsowymi;
- zakłóceniem szumowym niemodulowanym (wzmocniony szum).

Niech rozpatrywany przypadek dotychy wpływu zakłócenia z modulacją amplitudy na urządzenie odbiorcze.

Na wejściu odbiornika mamy:

$$(4) \qquad u_z(t) = U_z [1 + m_z(t) \cos (\omega_z t + \phi_z)]$$

$$(5) \qquad u_s(t) = U_s [1 + m_s(t) \cos (\omega_s t + \phi_s)]$$

gdzie:

$u_z(t)$ i $u_s(t)$ - wartości chwilowe napięcia sygnału zakłócającego i użytecznego;

U_z i U_s - amplitudy tych sygnałów;

$m_z(t)$ i $m_s(t)$ - funkcje modulujące sygnały;

ω_z i ω_s, ϕ_z i ϕ_s - częstotliwości nośne oraz fazy tych sygnałów.

Obwiednię napięcia wypadkowego sygnału zakłócającego i użytecznego na wejściu detektora można przedstawić w postaci:

$$U_{ob} = K_{od}\sqrt{U_{oz}^2 + U_{os}^2 + 2U_{oz}U_{os}\cos(\omega_z - \omega_s)t} =$$

(6)

$$= K_{od}\sqrt{U_{oz}^2 + U_{os}^2}\sqrt{1 + \frac{2U_{oz}U_{os}\cos(\omega_z - \omega_s)t}{U_{oz_2} + U_{oz}^2}}$$

gdzie:

$U_{oz} = U_z[1 + m_z(t)]$ - obwiednia sygnału zakłócającego;

$U_{os} = U_s[1 + m_s(t)]$ - obwiednia sygnału użytecznego;

K_{od} - współczynnik wzmocnienia odbiornika (dalej dla uproszczenia przyjęto $K_{od} = 1$).

Rozwijając wyrażenie na obwiednię U_{ob} w szereg dwumianowy i ograniczając się do trzech pierwszych członów rozkładu (co jest dopuszczalne dla $m_2 < 1$ i $m_s < 1$), w wyniku przekształceń otrzymujemy wzór na napięcie wejściowe detektora:

$$(7) \qquad U = U_u + U_{\Omega s} + U_{\Omega z} + U_{\Omega d}$$

gdzie: $U_u = U_{os}\sqrt{1 + b_2}$

$$(8) \quad U_{\Omega s} = \frac{U_s(2 + b^2)}{2(1 + b^2)^{\frac{3}{2}}} m_s$$

$$(9) \quad U_{\Omega z} = \frac{U_z b(2b^2 + 1)}{2(1 + b^2)^{\frac{3}{2}}} m_z$$

$$(10)\quad U_{\Omega d} = \frac{U^z}{\sqrt{1 + b^2}} \left(1 + \frac{b^2}{1 + b^2} m_s + \frac{1}{1 + b^2} m_z\right) \cos \Omega_d t$$

$$b = \frac{U_z}{U_s} > 1; \quad \Omega_d = \omega_z - \omega_s$$

Z wyrażenia (7) wynika, że łączność radiowa zostanie naruszona wskutek maskującego działania sygnału zakłócającego na sygnał użyteczny, wywołanego składowymi zakłócenia $U_{\Omega Z}$ (9) i dudnień $U_{\Omega d}$ (10). Jednocześnie zachodzi tu degradacja sygnału użytecznego przez sygnał zakłócający przy b > 1, typowa dla układu nieliniowego, jakim jest w danym przypadku detektor.

Z równań na $U_{\Omega s}$ (8) i $U_{\Omega z}$ (9) otrzymujemy:

$$(11)\quad \left(\frac{U_{\Omega s}}{U_{\Omega z}}\right)_{wy} = \frac{b^2 + 2}{2b^2 + 1} \frac{m_s}{m_z} \frac{1}{b^2}$$

Przykładowo dla b = 2 i $m_s = m_z$

$$\left(\frac{U_{\Omega s}}{U_{\Omega z}}\right)_{wy} = \frac{1}{6}$$

Zatem dla takich warunków występuje degradacja sygnału użytecznego, gdyż stosunek sygnału zakłócającego do sygnału użytecznego na wyjściu detektora zwiększa się 3-krotnie.

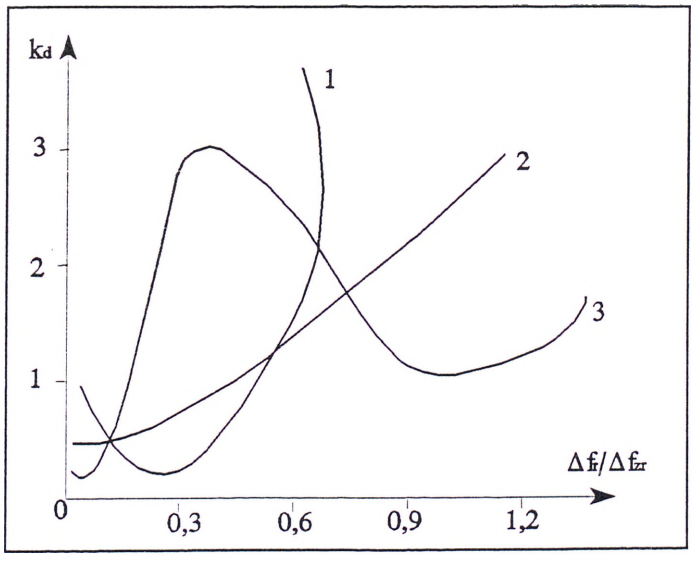
Z przeprowadzonego wywodu wynika ponadto, że przy dużym rozstrojeniu $\Omega d = \omega_s - \omega_z$ można wyeliminowa maskowanie sygnału uwarunkowane dudnieniami. W związku z powyższym, w procesie wytwarzania zakłóceń selektywnych w odniesieniu do urządzeń łączności radiowej, zachodzi konieczność bardzo dokładnego dostrojenia nadajnika zakłócającego do częstotliwości nośnej sygnału użytecznego. Analogiczny wniosek można również wysnuć w odniesieniu do innych rodzajów zakłóceń.

Na rys. 3.32. przedstawiono zależność współczynnika degradacji k_d urządzeń odbiorczych łączy radiowych z modulacją amplitudy od wielkości rozstrojenia ($\Delta f_r/\Delta_{zr}$) sygnału zakłócającego względem częstotliwości nośnej sygnału użytecznego.

Należy zaznaczyć, że w rozważanym przypadku współczynnik degradacji zależy od rozstrojenia, ponieważ szerokość widma zakłócania selektywnego może być mniejsza od pasma przepuszczania Δf_o odbiornika zakłócanego.

W zależności od postaci sygnału zakłócającego i rodzaju zakłócanego urządzenia łączności, stosuje się różne kryteria oceny. Jakość zakłóceń radiowych, przez urządzenia pracujące w reżimie przeszukiwania, wygodnie jest oceniać za pomocą enropii sygnału zakłócającego. Przydatność takiej oceny może być wykazana następująco:

Sygnały zakłócające powinny, przy zadanych ograniczeniach, uniemożliwiać odbiór sygnału użytecznego w danej relacji łączności z prawdopodobieństwem



Rys. 3.32. Zależność współczynnika degradacji odbiornika łącza radiowego z modulacją amplitudy od rozstrojenia sygnału zakłócającego względem częstotliwości rezonansowej odbiornika zakłócanego
1 - chaotyczne zakłócenia impulsowe;
2 - zakłócenia kombinowane;
3 - zakłócenia szumowe z modulacją częstotliwości.

większym od pewnej ustalonej wartości. Niezbędnym warunkiem prawidłowego działania znanych systemów dowodzenia i kierowania jest wiedza a priori o sygnałach użytecznych i rozkładach prawdopodobieństwa poszczególnych postaci sygnałów. W

przeciwnym wypadku nie można zapewnić prawidłowego działania tych systemów.

Idealne zakłócenia radiowe powinny stwarzać takie warunki, przy których a posteriori, tzn. po odbiorze sygnału użytecznego, w zakłócanym systemie zachowuje się nieokreśloność a priori. Im większa jest nieokreśloność sygnału, tym mniejsze potencjalnie możliwości ich eliminacji ma przeciwnik i przy większej nieokreśloności musi podejmować decyzje.

W przypadku skokowej zmiennej losowej X[1] o skończonej liczbie realizacji to znaczy:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & \dots & x_i & \dots & x_n \\ p_1 & \dots & p_i & \dots & p_n \end{pmatrix}$$

gdzie: x_i - wartość realizacji zmiennej losowej;

p_i - prawdopodobieństwo występowania realizacji x_i;

przy:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$$

entropia H(X) zmiennej losowej X jest określona wzorem:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i$$

Z dwóch sygnałów zakłócających, nie różniących się pozostałymi parametrami, lepszy będzie ten sygnał, którego entropia jest większa.

W przypadku zmiennej losowej ciągłej, o funkcji gęstości p(x), entropia jest równa:

$$H(X) = -\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \log p(x)\, dx$$

Konsekwentnie dla zmiennej losowej ciągłej wielowymiarowej X o gęstości prawdopodobieństwa $p(x_1, \dots, x_n)$ entropia wynosi:

---

[1] Stosowana jest tu często przyjmowana umowna zasada: zmienna losowa - duża litera, jej realizacja - mała litera.

$$H(X) = -\int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p(x_1, \dots, x_n) \log p(x_1, \dots, x_n)\, dx_1, \dots dx_n$$

Stosowanie entropii jako miary jakości sygnałów zakłócających, pozwala ocenić potencjalne możliwości zakłóceń, niezależnie od konkretnych sposobów ich przetwarzania w zakłócanych urządzeniach.

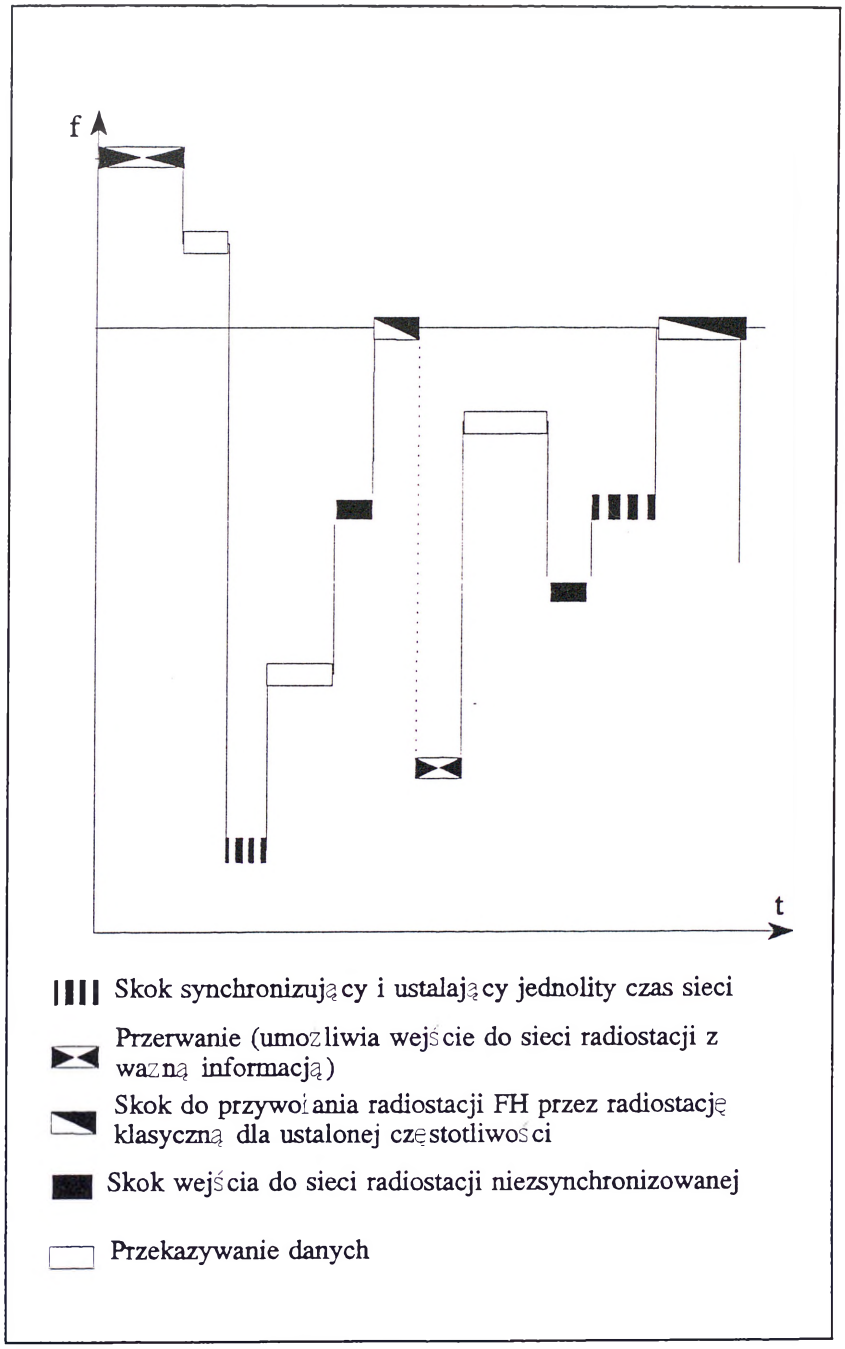
Rozpatrywane zakłócenia selektywne, są niestety całkowicie nieskuteczne w stosunku do wprowadzanych nowoczesnych urządzeń łączności, wykorzystujących emisje rozproszone (SS). Nieskuteczność wynika z braku korelacji sygnału zakłócającego z ciągiem pseudolosowym. W procesie demodulacji zakłócanego odbiornika, sygnał zakłócający zostanie rozproszony owym ciągiem w całym paśmie, analogicznie jak sygnał użyteczny w nadajniku. Analiza sygnałów emisji rozproszonych wskazuje, że badania powinny się skupić nie na próbach zakłócenia całych podzakresów częstosliwości, lecz na impulsach synchronizacji i jednolitego czasu danej sieci. Przykładowy ciąg impulsów z zaznaczonymi skokami synchronizującymi ilustruje rys. 3.33. Zakłócenie owych sygnałów emitowanych przez radiostację główną, może doprowadzić do zerwania synchronizacji całej sieci, uniemożliwiając tym samym jej pracę techniką widma rozproszonego.

Oddziaływanie na impulsy synchronizujące radiostacji głównej tzw. MASTER (rys.3.34.), nie jest jedyną drogą degradacji określonej sieci. Podobny efekt tyle, że w zdecydowanie większej skali mogłoby przynieść zakłócanie wzorców czasowych, z których radiostacje MASTER będą korzystały.

Owe wzorce to GPS NAVSTAR, GLONAS czy niemiecki DCF-77[1]. Innym rozwiązaniem może być wzorzec dystrybucji czasu zamontowany na środku powietrznym, obejmujący swym zasięgiem całą strefę działań operacyjnych (rys. 3.35.)

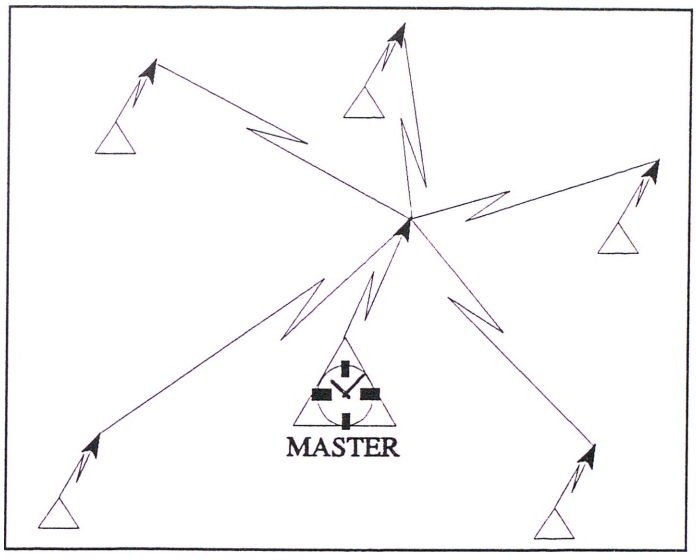
---

[1] DCF-77 - Nadajnik kodu czasowego zlokalizowany w MAINFINGEN, pracujący na częstotliwości f = 77.5 kHz i obejmujący obszar o promieniu 1000 km.

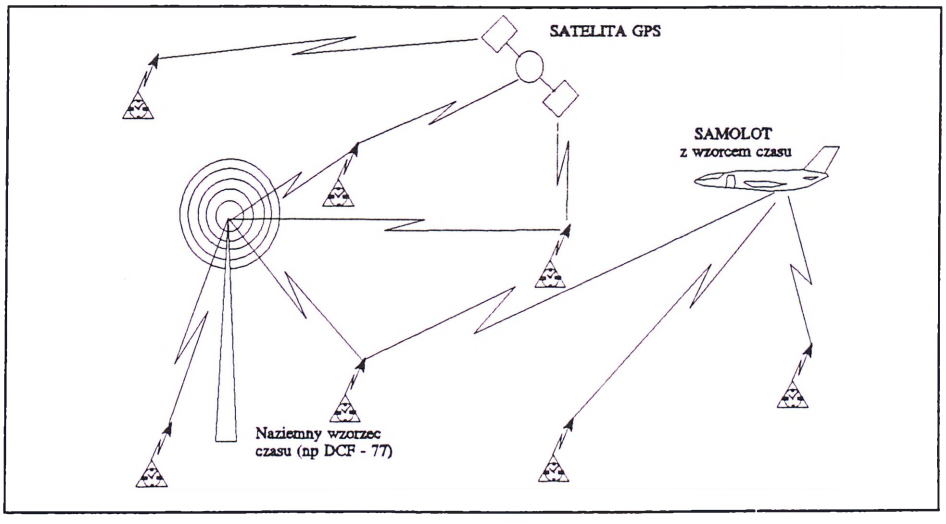


Rys. 3.33. Przykładowy ciąg impulsów FH TH.

Co prawda rozwiązanie tego problemu nie jest proste, zważywszy jednak, że jest to chyba jedyny wrażliwy punkt techniki sygnałów rozproszonych, wykorzystanie którego może przynieść zamierzony efekt zakłócenia tych emisji, wart jest badań w ramach przebudowy modelu.



Rys. 3.34. Oddziaływanie na impulsy synchronizacji radiostacji głównej może doprowadzić do zerwania pracy całej sieci.



Rys. 3.35. Zakłócenie pracy wzorców czasu może przynieść efekt w skali operacyjnej.

Nie mniejsze problemy stwarza obezwładnianie relacji łączności radioliniowej i satelitarnej. Zasadniczy problem (podobnie jak w procesie rozpoznania) stanowi dostęp energetyczny do tych środków, wynikający ze ściśle kierunkowych charakterystyk anten. W obecnie funkcjonującym modelu, brak jest jakichkolwiek

środków umożliwiających oddziaływanie na te relacje.

Już wysoki i stale rosnący udział środków radioliniowych i satelitarnych w systemach dowodzenia i kierowania, jednoznacznie wykazuje potrzebę uwzględnienia problemu obezwładniania tych środków przy przebudowie modelu.

Analiza problemu wykazała, że jednym z bardziej uzasadnionych rozwiązań byłoby masowe użycie nadajników zakłócających jednorazowego użytku, pokrywających zakresy pracy tych środków. Problem ich przenoszenia mogłyby rozwiązać środki bezpilotowe.

Zasygnalizowane problemy związane z zakłócaniem systemów dowodzenia i kierowania, sugerują skupienie wysiłku badawczo-rozwojowego na generatorach impulsu elektromagnetycznego (EMP)[1].

Generatory impulsu działają na zasadzie wytworzenia pola elektromagnetycznego o bardzo dużej gęstości mocy, które przez zaindukowanie w antenach lub odcinkach przewodów, powoduje znaczne przepięcia lub przepływy prądu o dużym natężeniu. W wyniku oddziaływania przepięć i prądów zniszczeniu, uszkodzeniu bądź zakłóceniu ulegną wszystkie urządzenia elektryczne i elektroniczne, które znajdą się w zasięgu oddziaływania impulsu. Skala szkód uzależniona będzie od wielkości zaindukowanej energii, wrażliwości układów i stopnia zabezpieczenia przed zjawiskiem impulsu.

Celem prac badawczych w tym zakresie, byłby więc taki generator impulsu elektromagnetycznego, którego destrukcyjne działanie pozbawiałoby przeciwnika możliwości korzystania z urządzeń elektronicznych wykorzystywanych nie tylko w systemach dowodzenia i kierowania lecz również innej techniki bojowej wspieranej elektronicznie, łącznie z środkami transportu z zapłonem iskrowym.

Prowadzone w tym zakresie w Stanach Zjednoczonych, Federacji Rosyjskiej i Wielkiej Brytanii prace badawczo-rozwojowe, wskazują na zasadność podjęcia tego kierunku badań.

Z bardzo skąpych na ten temat materiałów wynika, że amerykański generator EMP o wymiarach 0,6 x 3 metry, w czasie testu wyemitował impuls elektromagne-

---

[1] EMP - elektromagnetic pulse - impuls elektromagnetyczny.

tyczny o natężeniu 12-16 milionów amperów i czasie narastania około 400 nanosekund.

Bardziej zaawansowani w tej dziedzinie Rosjanie, prawdopodobnie uzyskali w czasie prób impulsy o natężeniu około 200 milionów amperów z generatora stacjonarnego, zaś w warunkach polowych z generatora o stosunkowo małych gabarytach (0,4 x 1m) impuls o natężeniu około 30 milionów amperów.

Zarówno amerykańskie jak i rosyjskie generatory EMP, są przystosowane do przenoszenia przez rakiety skrzydlate.

Inny, niezwykle skuteczny środek obezwładniania radioelektronicznego mogłyby przynieść badania nad skonstruowaniem akceleratora RFQ[1]. Z dostępnych periodyków wynika, że akcelerator RFQ umożliwia formowanie niezwykle zagęszczonej wiązki elektromagnetycznej o bardzo małej rozbieżności.

Emisja wiązki o gęstości mocy rzędu 10^{-8} - 10^{-6} W/cm^2 umożliwia skuteczne zakłócanie systemów łączności i systemów radiolokacyjnych.

Moce rzędu 10-100 W/cm^2 blokują działanie elementów czujnikowych i układów elektronicznych. Pozwalają również na zdalną implantację wirusów w systemach komputerowych.

Destrukcyjne działanie wiązki przez szybkie indukcyjne wytworzenie wysokiej temperatury wymaga gęstości rzędu 1000-10000 W/cm^2.

Badania w tym zakresie zakończone sukcesem, mogłyby przynieść jakościowo nowy, wszechstronny i niezwykle skuteczny środek obezwładniania radioelektronicznego.

Równie skuteczna jak aktywne środki zakłócające, może okazać się zmiana środowiska elektromagnetycznego za pomocą środków pasywnych. Rozproszenie w obszarze oczekiwanych zmian odpowiednich dymów, aerozoli i pyłów metalicznych bądź grafitowych, może w efekcie doprowadzić do znacznego zakłócenia a nawet zaniku propagacji fal elektromagnetycznych przez okres ich opadania.

Dodatkowo po opadnięciu pyły metaliczne i grafitowe mogą powodować liczne zwarcia w napowietrznych liniach przesyłowych energii elektrycznej, antenach nadawczych i odbiorczych, utrudniając dodatkowo korzystanie z nich.

---

[1] RFQ - radio-frequency quadrupole - brak polskiego nazewnictwa.

Rozpylone zaś przed własnym ugrupowaniem, mogą stanowić skuteczny ekran, uniemożliwiający przeciwnikowi rozpoznanie i obezwładnianie środków radioelektronicznych. Należy jednak pamiętać, że jest to "broń" obosieczna.

Zasygnalizowane najnowsze trendy w dziedzinie aktywnego i pasywnego oddziaływania radioelektronicznego, po wdrożeniu w przyszłym modelu, w znacznym stopniu mogłyby podnieść jego efektywność.

Przebudowa modelu byłaby niepełna gdyby nie uwzględnić w niej przedsięwzięć obrony radioelektronicznej. Obrona radioelektroniczna jako forma walki, powinna zapewnić efektywne wykorzystywanie w działaniach operacyjnych systemów i urządzeń radioelektronicznych wojsk własnych w warunkach oddziaływania na nie środków prowadzenia wojny elektronicznej przeciwnika.

Obejmuje szereg przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych mających na celu:

- obronę przed rozpoznaniem przez przeciwnika;
- obronę przed ogniowym rażeniem obiektów radioelektronicznych;
- obronę przed radioelektronicznym oddziaływaniem przeciwnika;
- uniknięcie wzajemnych zakłóceń przez zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej;
- kontrolę pracy własnych środków.

W obecnie funkcjonującym modelu, z powyższego zakresu zadań realizowane są jedynie przedsięwzięcia organizacyjne. Natomiast brak jest możliwości realizowania przedsięwzięć technicznych. Praktycznie jedyną obroną przed rozpoznaniem radioelektronicznym, ze wszystkimi jego skutkami, jest cisza radiowa. Dlatego też, przedsięwzięciami z zakresu obrony radioelektronicznej oprócz proponowanego modelu, muszą być objęte całe siły zbrojne. Rozwiązaniem większości problemów z zakresu obrony radioelektronicznej może być nowoczesny system dowodzenia i łączności, odporny na rozpoznanie i obezwładnianie przeciwnika. Temat ten, ze względu że wykracza poza ramy tematyczne rozprawy nie będzie rozwijany.

W ramach modelu, przedsięwzięcia z zakresu obrony radioelektronicznej mógłby realizować zestaw maskowania radiowego, pozorujący bojowe funkcjonowanie sieci łączności radiowej i kierunków łączności radioliniowej. Zafałszowanie za pomocą tej aparatury sytuacji radiowej lub radioliniowej, wprowadzałoby przeciwnika w błąd, uniemożliwiając mu poprawną ocenę sytuacji i ugrupowania wojsk własnych.

Wykorzystując symulatory z odpowiednimi zakresami częstotliwości radiowych, rodzajami modulacji i poziomami mocy wyjściowej nadajników, zestaw maskowania radiowego mógłby pozorować funkcjonowanie systemów łączności pracujących w zakresie fal krótkich, ultrakrótkich wojsk lądowych i pasm lotniczych oraz kierunków radioliniowych.

Technika pozorowania pracy sieci radiowych była stosowana przez Amerykanów podczas wojny w Zatoce Perskiej.

Pozorowanie pracy systemu dowodzenia i obecności wojsk jest jedną z form maskowania radioelektronicznego. Z innych form, preferowana jest cisza radiowa oraz aktywne i pasywne zakłócanie radioelektroniczne. Ponadto, przy opuszczaniu zajmowanego rejonu, uzasadniona byłaby zasada pozostawiania w nim środków radioelektronicznych pracujących w niezmienionych reżimach, jeżeli oczywiście pozwalają na to posiadane zasoby.

W ramach obrony przed ogniowym rażeniem obiektów radioelektronicznych, oprócz wymienionych przedsięwzięć z zakresu maskowania, powinny być realizowane prace zabezpieczenia inżynieryjnego stanowisk dowodzenia, węzłów łączności i rejonów dyslokacji innych obiektów radioelektronicznych. W przyszłym modelu powinno być również wymagane dokonywanie manewru środkami radioelektronicznymi, czyli zmiana pozycji z głównych na zapasowe.

Ze względu na duże nasycenie rejonów działań operacyjnych różnego rodzaju środkami radioelektronicznymi, w modelu powinny być uwzględnione przedsięwzięcia eliminujące wzajemne zakłócenia. Przewidując możliwy duży poziom promieniowania elektromagnetycznego, nieodzowne będzie rozmieszczanie środków radioelektronicznych w odpowiednich odległościach względem siebie, określanie priorytetów i czasów pracy, podzielenie ograniczonej liczby pasm i częstotliwości radiowych pomiędzy pracujące systemy i środki radioelektroniczne wojsk własnych.

Kontrola pracy własnych środków radioelektronicznych powinna wykrywać i eliminować cechy demaskujące ich pracę, ustalać skutki oddziaływania przeciwnika, sprawdzać przestrzeganie ustalonych zasad i sposobów pracy oraz dyscypliny eksploatacyjnej, a także skuteczność zastosowanych przedsięwzięć z zakresu maskowania radioelektronicznego.

3.4. AUTOMATYZACJA MODELU

Wszystkie zmiany proponowane w przebudowie modelu byłyby nieuzasadnione i nierealne bez automatyzacji i komputerowego wspomagania rozpatrywanych procesów. Atrybutem formującej się obecnie epoki informacji będą bowiem komputery i sieci komputerowe.

Gwałtowny spadek cen, zwłaszcza w porównaniu z możliwościami komputerów i urządzeń telekomunikacyjnych czyni ten proces realnym. Przez ostatnie dwie dekady komputery i urządzenia telekomunikacyjne, niezależnie od siebie, taniały relatywnie do swych możliwości o około 25 % rocznie. Ten ciągły rozwój, pozwala na realne prognozy dotyczące ich wykorzystania w rozpatrywanym modelu jako części składowej jednolitej infrastruktury informatycznej związku operacyjnego.

W zakresie rozpoznania, zautomatyzowany, komputerowy system znacznie usprawni proces pomiaru i kontroli sytuacji radioelektronicznej.

Użytkownik takiego systemu wyda polecenie i komputer sam będzie realizował pomiary, dokona analizy, przetworzy informacje i zaprezentuje wyniki w dowolnej zaprogramowanej formie. Przejmie więc wszystkie czynności wykonawcze (uwidocznione na rys. 3.31.d), dając użytkownikowi możliwość skoncentrowania się na operacyjnych i taktycznych aspektach problemu. Komputer stworzy również realne możliwości prowadzenia rozpoznania bez nadzoru, co wyeliminuje pomyłki i błędy operatorów oraz problemy pracy ciągłej (całodobowej).

System taki, gwarantując identyczność procedury pomiarowej przy wielokrotnym jej powtarzaniu sprawi, że ocena radioelektroniczna będzie bardziej obiektywna. Natomiast możliwość zdalnej kontroli i zdalnych pomiarów z wykorzystaniem eksploatowanych łączy przewodowych lub bezprzewodowych, pozwoli na szybkie przenoszenie wysiłku rozpoznania. Przetwarzanie i obróbka danych z rozpoznania będzie automatyczna, dokładna i w czasie realnym.

W miarę napływu wyniki pomiarów będą analizowane, sortowane, przetwarzane i w zależności od potrzeb prezentowane albo przekazywane do pamięci.

System komputerowy będzie można automatycznie sprawdzać i kalibrować. Poprawki i błędy będą zapamiętywane i uwzględniane przy kolejnych pomirach, co przyczyni się do zwiększenia ich dokładności.

W zależności od potrzeb system automatycznie będzie mógł się adoptować i podejmować decyzje o zmianach programu swojego działania - bez ingerencji operatora. Będzie mógł zmieniać kolejność pomiarów, powtarzać je w określonej sekwencji, przechodzić na inne zestawy danych, które uwzględni program. Przystosowanie do różnych specyficznych zadań pomiarowych, zapewni odpowiedni program, a nie wyspecjalizowana konstrukcja aparatury, jak w eksploatowanym obecnie modelu. Liczba różnych programów jest praktycznie nieograniczona, a bardzo istotne są też koszty. Ogólnie biorąc - taniej i szybciej będzie można przygotowywać zupełnie nowy program, aniżeli opracować nowe, wyspecjalizowane urządzenia pomiarowe, spełniające te same funkcje, z taką samą niezawodnością.

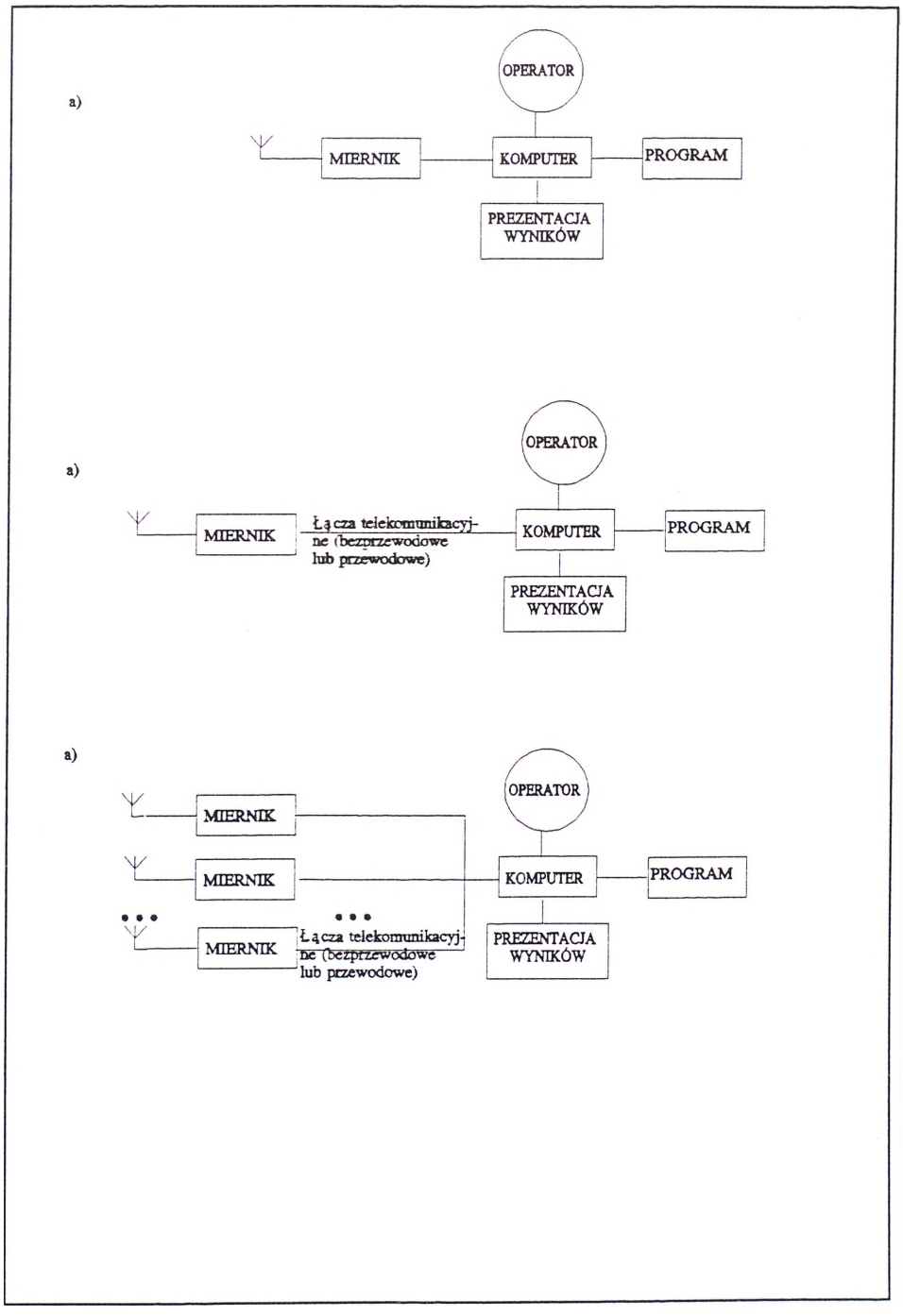
"Sercem" zautomatyzowanego systemu będzie odpowiedni odbiornik-miernik, jego "mózgiem" zaś - komputer. Miernik może być zbudowany według klasycznych zasad, z tym, że wszystkie jego funkcje regulacyjne i wykonawcze będą kontrolowane elektronicznie (nie wyklucza to obsługi ręcznej). Miernik będzie więc sterowany elektronicznie sygnałem analogowym lub dyskretnym. Pierwszy sposób jest łatwiejszy w realizacji i tańszy; drugi natomiast, zapewni znacznie większą dokładność.

W celu uniknięcia błędów, powinny być przewidziane zwrotne meldunki do komputera o wykonaniu rozkazów i stanie miernika. Dzięki takiej pętli zwrotnej możliwe będzie wykrycie przekłamań i pomyłek oraz ich korygowanie. W razie przekłamania rozkaz byłby powtarzany kilkakrotnie, aż do uzyskania potwierdzenia o jego wykonaniu lub stwierdzenia awarii. Działanie systemu antenowego powinno być analogiczne.

Na rysunku 3.36. przedstawiono trzy z możliwych wariantów systemu pracującego w czasie rzeczywistym.

W pierwszym z tych wariantów komputer współpracuje z pojedynczym miernikiem połączonym z nim bezpośrednio. Taki układ jest szczególnie przydatny do montażu na środkach ruchomych (pojazd, śmigłowiec).

Drugi wariant różni się od pierwszego tym, że miernik jest oddalony od komputera i współpracuje z nim za pośrednictwem łącza telekomunikacyjnego. W ten sposób możliwe jest zdalne prowadzenie pomiarów i kontroli. Komputer sterujący



Rys. 3.36. Przykładowe warianty zautomatyzowanego systemu rozpoznania. wykorzystywany także do innych celów, nie związanych z pomiarami. a) system prosty - miernik i komputer w połączeniu bezpośrednim; b) system prosty - pomiar i sterowanie zdalne; c) system rozbudowany - komputer wspólny dla wielu mierników.

działaniem systemu, może być w tych warunkach wykorzystywany także do innych celów, nie związanych z pomiarami.

Ostatni z wariantów przedstawia rozbudowany system, w którym jeden komputer steruje za pomocą łączy telekomunikacyjnych działaniem wielu mierników usytuowanych w różnych miejscach.

Istotą badań realizowanych w ramach tego problemu byłoby opracowanie podsystemu "sztucznej inteligencji" zdolnej zrozumieć, przetworzyć i przesłać ogromne ilości danych zgromadzonych w pamięci komputera i pozyskiwanych przez owe mierniki. Urządzenia komputerowe, operujące informacją wielokroć szybciej niż człowiek, nie potrafią w przeciwieństwie do ludzi rozumieć tych informacji. Jest ona dla nich tylko złudnie jednostajnym ciągiem zer i jedynek.
Podsystem sztucznej inteligencji musi więc spowodować, aby komputery zaczęły rozumieć, choćby w przybliżeniu, co tak naprawdę znaczą owe zera i jedynki.

Zrozumienie wartości informacji jest jednak trudne nawet dla człowieka. Zalewani przez informacje, potrafimy tylko intuicyjnie określić ich znaczenie, bowiem nie posiadamy ani umiejętności, ani narzędzi pozwalających określać ich wartość. Chcąc więc rozwiązać ów problem, należałoby opracować dla potrzeb modelu algorytmy klasyfikacji informacji.

W ramach rozpoznania wstępnego, w algorytmie powinien być uwzględniony cały obszar zainteresowania związku operacyjnego. Informacje powinny być w takim stopniu przetworzone i uogólnione, aby były czytelne i zrozumiałe dla użytkonika. Kompleks aparaturowy powinien w tej fazie przetwarzać i korelować dane z rozpoznania oraz wstępnie wskazywać prawdopodobną lokalizację obiektów. Następnie na podstawie wskazanej lokalizacji, aparatura powinna dokonać analizy operacyjnej, uwzględniając wiadomości o charakterze terenu, strukturze organizacyjnej przeciwnika, jego ugrupowaniu bojowym i zasadach prowadzenia działań.

Na etap rozpoznania szczegółowego powinien być opracowany algorytm klasyfikacji wykrytych obiektów.
W tej fazie, na podstawie danych z rozpoznania wstępnego, precyzyjnej lokalizacji oraz analizy technicznej sygnałów, aparatura powinna wspomagać decyzję o sposobie ogniowego bądź radioelektronicznego oddziaływania na wykryte obiekty. Do

zwalczania tych obiektów powinny być wskazywane najbardziej dogodne środki artyleryjskie, lotnicze, radioelektroniczne, bądź inne dostępne w danym momencie.

Z powyższych rozważań wynika, że do poprawnego funkcjonowania modelu, niezbędna będzie komputerowa baza danych o terenie i przeciwniku. Kompleks komputerowy automatycznie uzupełniałby dane cyfrowe o terenie, danymi o przeciwniku w skali całego obszaru zainteresowania związku operacyjnego i udostępniał je wszystkim pozostałym elementom systemu.

Ciekawą alternatywę rozwiązania komputerowych banków danych zaprezentowali w rozprawie doktorskiej KWEĆKA i NOWAK [1]. Zaproponowali mianowicie strefowe banki danych, dowiązanych do siatki kartograficznej kraju, udostępniające uprawnionym użytkownikom wiadomości o infrastrukturze terenu i potencjalnym przeciwniku.

Przy rozwiązywaniu powyższych problemów należy pamiętać, że dobrą infrastrukturę informatyczną powinno charakteryzować kilka prostych, lecz jakże ważnych cech:

Po pierwsze, powinna być powszechnie dostępna, aby każdy uprawniony użytkownik mógł z niej korzystać.

Po drugie, powinna być łatwa w użyciu, aby korzystanie z niej nie wymagało specjalistycznego przygotowania użytkownika.

I trzecia, chyba najważniejsza cecha, to różnorodność oferowanych usług. Stosując powyższe kryteria można stwierdzić, że dobra infrastruktura informatyczna to wciąż przyszłość i to w skali globalnej, bowiem w żadnym z państw, nawet tych najbardziej zaawansowanych technologicznie, ta problematyka nie została rozwiązana. Do przebudowy modelu w tym zakresie, należy więc przystąpić bez większych obciążeń czy kompleksów.

Analiza zagadnień związanych ze stworzeniem infrastruktury informatycznej, prowadzona w nieco szerszym wymiarze niż tylko potrzeby modelu, pozwala na sformułowanie trzech problemów, rozwiązanie których może się przyczynić do uporządkowania obecnego chaosu w tym zakresie:

1. Duża różnorodność sposobów transmisji informacji.

---

[1] Roman KWEĆKA, Andrzej NOWAK: "Budowa modelu systemu rozpoznania wojskowego w aspekcie organizacyjnym i informacyjnym", Rozprawa doktorska, AON 1994, nr bibl. 200.

2. Ogólny dostęp uprawnionych użytkowników do oferowych usług.

3. Wspólne protokoły telekomunikacyjne.

Różnorodność sposobów transmisji oznacza, że przyszły użytkownik będzie miał możliwość wyboru środka oraz szybkości przekazywania (pozyskiwania) informacji, stopnia jej utajnienia i ochrony przed błędami. Obecnie wykorzystywana telefoniczna i radiotelefoniczna infrastruktura nie spełnia tych wymagań ze względu na zbyt małe możliwości przepustowe (do 64 kb/s), niedostateczny poziom utajnienia i brak ochrony przed błędami. Eksploatowane sieci łączności były budowane z myślą o komunikowaniu się ludzi, adoptowane do technicznych środków łączności typu analogowego, nie wymagających zbytnich zróżnicowań.

Komputery zaś mogą przesyłać informacje z różnymi prędkościami, poczynając od kilku tysięcy bitów na sekundę przy przekazywaniu krótkich meldunków czy wiadomości, kończąc na dziesiątkach milionów bitów przy przekazywaniu obrazów o dużej rozdzielczości.

Wymagania dotyczące stopnia tajności także zależą od szczebla i ważności informacji.Informacje o znaczeniu operacyjnym wymagają przecież zachowania większej tajemnicy niż meldunek o przegrupowaniu pododdziału.

Podobnie z ochroną transmisji przed błędami - informacje o położeniu celu do porażenia ogniowego czy stopniu gotowości środków rażenia wymagają perfekcji, podczas gdy przy transmisji zdjęć lub obrazów, pewna niedokładność jest dopuszczalna: strata kilku bitów nie grozi przekłamaniem.

Różnorodność sposobów przekazu informacji oznacza również możliwość włączania się użytkowników w infrastrukturę, w dowolnym miejscu i czasie. Zapewnienie tego wymogu dla użytkowników stacjonarnych nie powinno stwarzać większych problemów. Natomiast dla użytkowników ruchomych, szczególnie przydatna do tego celu i godna przeprowadzenia badań byłaby sieć oparta na systemie komórkowym.

Drugą składową uporządkowanej infrastruktury informatycznej powinien być zestaw powszechnie dostępnych usług i zróżnicowany dostęp do banków danych systemu. Oznacza to, że przykładowo dowódca brygady, w przypadku kryzysowej sytuacji na swoim kierunku, będzie upoważniony do sprawdzenia aktualnych możliwości wykorzystania ognia artylerii, śmigłowcowego odwodu przeciwpancancer-

nego czy przeniesienia wysiłku obezwładniania radioelektronicznego. Natomiast dowódca plutonu będzie miał możliwość sprawdzenia infrastruktury terenu i przeciwnika na swoim kierunku działań.

Wspólne protokoły informacyjne, trzeci i najważniejszy element przyszłej infrastruktury, powinny określić pewne konwencje obowiązujące wszystkich użytkowników, innymi słowy - wspólny język. Jedną z dróg stworzenia takiego języka dla komputerów, są elektroniczne procedury zwane w literaturze E-formami[1].
E-formy komputerowe, odpowiedniki tradycyjnych formularzy, po wprowadzeniu do powszechnego użytku w wojskach, byłyby natychmiast rozpoznawane przez każdy komputer, rozwiązując tym samym problemy standaryzacji procedur informatycznych. Ich atrakcyjność polega na tym, że mogą być wypełniane zarówno z wykorzystaniem pisma jak i mowy. System badany w Massachusetts Institute of Technology (MIT), rozumie ciągłe wypowiedzi dowolnych osób, mówiących z różnym akcentem, pod warunkiem, że na z góry określony temat. Ludzie zwykle formułują pytania i wypowiedzi na wiele różnych sposobów. Komputerowi wystarcza zaliczyć pytanie bądź wypowiedź do jednej z kilku, kilkunastu bądź kilkudziesięciu grup. W rezultacie reagujące na głos E-formy, są znacznie bardziej reaine niż ogólne systemy rozumienia mowy.

Innym, równie atrakcyjnym rozwiązaniem problemów standaryzacji i pozyskiwania informacji zgromadzonej w różnych formach mógłby być Knowbot[2] , po raz pierwszy opracowany w Corporation for National Research Initiatives (CNRI). Knowboty są programami umożliwiającymi użytkownikowi poruszanie się w sieci, sprawdzanie i rozumienie zawartych w niej różnych rodzajów informacji, niezależnie od języka i formy, w jakiej są one wyrażone.

Przykładowo przyjmijmy, że chcemy sporządzić listę wszystkich środków łączności, pracujących emisjami wąskopasmowymi, w zakresie częstotliwości 20-400 MHz. (Posiadamy stacje zakłóceń wąskopasmowych, pokrywające ten zakres

---

[1] E-form - jest angielskim terminem, który można przetłumaczyć jako "elektroniczny formularz".

[2] Knowbot [noubot] - program opracowany przez Cerfa i Roberta E. KAHANA z CWRI do przeczesywania baz danych opracowanych przez National Library of Medicine, w poszukiwaniu danych o ludziach.

częstotliwości). Jeśli szczegółowe opisy różnych środków łączności będą dostępne poprzez infrastrukturę informatyczną, ale przedstawione w różnych formach (opisy, tabele itp.), będziemy musieli wpuścić Knowbota, by przebadał formularze sieci. Ów Knowbot, będzie znał różne postaci, w jakich ta sama informacja może być przedstawiona, co umożliwi mu korzystanie ze wszystkich źródeł. Po zebraniu i przetworzeniu informacji, przedstawi je użytkownikowi w wybranej przez niego formie. Ponieważ Knowboty, mogą być dostosowane do różnych specjalistycznych potrzeb rodzajów wojsk i służb oraz tolerują rozmaite postaci prezentacji informacji, wydają się być atraktyjniejsze niż E-formy. Jeśli jednak będziemy chcieli, by programy te pracowały bardziej inteligentnie, stanowić mogą prawdziwe wyzwanie dla informatyków.

Racjonalne i planowe podejście do problemów związanych z komputeryzacją samego modelu, czy szerzej patrząc całego systemu informatycznego sił zbrojnych, dyktuje negatywna ocena dotychczasowych dokonań w tym zakresie. Nie będzie dalekie od prawdy stwierdzenie, że żywiołowa komputeryzacja jaka miała miejsce w okresie ostatnich kilku lat, nie była podporządkowana racjonalnym rozwiązaniom systemowym, wyprzedzała tempo przebudowy sił zbrojnych i dostosowania struktur do nowych potrzeb. Tych błędów należy uniknąć przy przebudowie modelu.

3.5. ZASADNICZE FAZY REALIZACJI PROGRAMU PRZEBUDOWY MODELU ROZPOZNANIA I ZAKŁÓCEŃ RADIO-RADIOWYCH ZWIĄZKU OPERACYJNEGO

Cykl realizacji programu przebudowy powinien obejmować wszystkie aspekty techniczne i finansowe.

Program może być uruchomiony w trybie normalnym, w ramach funduszy przeznaczonych na cele rozwojowe, bądź w trybie nadzwyczajnym, jeżeli zostanie uznany za priorytetowy przez osoby dysponujące odpowiednimi kompetencjami. Tryb nadzwyczajny mogą dyktować pilne potrzeby obronne, udział funduszy różnych rodzajów sił zbrojnych, szczególne zainteresowanie najwyższych władz państwowych, bądź w przypadku, gdy ogólne wydatki na badania, próby poligonowe i wdrożenie, przekroczą fundusze przeznaczone na cele rozwojowe.

Proces wdrażania sprzętu powinien obejmować cztery fazy, co wydatnie zmniejszy wydatki i czas całego cyklu.

1. Faza badawczo-definicyjna.

Przed uruchomieniem każdego programu, powinna być dokonana analiza aktualnych i przewidywanych możliwości i zakresu realizacji założonego celu. Owa analiza powinna obejmować ocenę zagrożenia i możliwości własnych wojsk w tym zakresie, ponadto uwzględniać możliwości technologiczne oraz założenia doktrynalne. Z analizy wyniknąć mogą wnioski dotyczące:

- inicjowania nowych programów rozwojowych;
- zmian w koncepcji prowadzenia działań bojowych (operacyjnych);
- wykorzystania istniejących systemów wojskowych i cywilnych;
- modernizacji istniejących systemów;
- uruchomienia kooperacji programów badawczo-rozwojowych.

Wiele przedsięwzięć tego etapu zostało zrealizowanych w rozprawie.

W przypadku inicjowania nowych programów rozwojowych, powinien być opracowany protokół konieczności, który będzie podstawą do przydzielenia funduszy na uruchomienie programu. Po otrzymaniu zgody na jego uruchomienie, zainteresowany dowódca rodzaju sił zbrojnych (dyrektor resortu) powinien przedstawić wymagania dla egzemplarza sprzętu czy systemu objętego programem. Jednocześnie powinno się poszukiwać potencjalnych wykonawców. Po złożeniu odpowiednich ofert realizacji programu, powinien nastąpić wybór opcji najbardziej korzystnych. Wybrane firmy winny przystąpić do prac, bazując na przyznanych im funduszach. Faza ta powinna być zakończona przygotowaniem dokumentów obejmujących podsumowanie jej wyników oraz ogólny zarys zadań i środków dla kolejnej fazy.

Decyzję o rozpoczęciu kolejnej fazy powinien podejmować Minister Obrony Narodowej. Dokument decyzyjny winien zawierać ocenę poziomu zaawansowania prac i ustalać dalsze cele z uwzględnieniem kosztów, terminów realizacji kolejnych etapów oraz osiągniętego poziomu zaawansowania technicznego.

2. Faza demonstrowania i oceny.

Faza ta winna obejmować demonstrację alternatywnych rozwiązań oraz wybór najlepszego z nich, opracowanie prototypu do prowadzenia badań oraz dokonania

prób poligonowych, z uwzględnieniem najbardziej realnych warunków eksploatacyjnych i z udziałem przedstawicieli przyszłych użytkowników.

Procedura oceny wyników osiągniętych w toku tej fazy oraz proces decyzyjny, powinny być podobne do przedstawionych poprzednio.

3. Faza rozwojowa.

W trakcie tej fazy, egzemplarz sprzętu powinien być doprowadzony do takiego poziomu, który by uzasadniał podjęcie decyzji o jego produkcji seryjnej. Ponadto odpowiedzialny za badania, powinien przedstawić analizę zaawansowania technicznego i możliwości taktycznych (operacyjnych) oraz wymagania w zakresie zabezpieczenia produkcji i wprowadzenia urządzenia do wojsk. Powinien także akceptować ewentualne zmiany zaistniałe w trakcie realizacji programu lub dokonać rewizji wymagań. Akceptacji wyników fazy rozwojowej winien dokonać Minister Obrony Narodowej, który podejmuje jednocześnie decyzję o przystąpieniu do ostatniej fazy.

4. Faza produkcji i wprowadzenia do wojsk.

W tej fazie rola odpowiedzialnego powinna się sprowadzać do kontroli realizacji założeń projektowych i planów. Główny wysiłek powinien być skierowany na dokonywanie prób i ocen możliwości taktycznych (operacyjnych) urządzenia, szkolenie przyszłych użytkowników i zabezpieczenie logistyczne.

W okresie 1-2 lat od momentu wprowadzenia urządzenia do uzbrojenia, powinno się dokonać kontroli zachowania parametrów w trakcie eksploatacji, jego adaptacji w wojskach oraz gotowości operacyjnej systemu, w którym jest eksploatowany. Pozytywne wyniki kontroli potwierdziłyby założenie projektowe, negatywne - byłyby podstawą ewentualnej decyzji w sprawie przedsięwzięć i środków niezbędnych do pełnego zrealizowania założonych celów. Po upływie 5-10 lat eksploatacji, należałoby przeprowadzić dokładną analizę stanu technicznego urządzenia i stojących przed nim zadań. Z owej analizy, mogłaby wyniknąć konieczność jego modernizacji bądź zastąpienia go nowym rozwiązaniem.

Decyzja o zastąpieniu będzie mogła stanowić początek nowego cyklu.

Zaprezentowane cykle rozwojowe, mogą stanowić alternatywny scenariusz zarówno całego programu przebudowy modelu jak i poszczególnych jego elementów zaproponowanych w rozprawie.

3.6. WNIOSKI

Mając świadomość roli jaką spełnia informacja i to zarówno w okresie pokoju jak i wojny, przebudowa modelu i włączenie go do infrastruktury informacyjnej związku operacyjnego jest niezbędne.
Natomiast analiza krajowego potencjału naukowo-badawczego, zaawansowania technologicznego i możliwości produkcyjnych wykazuje, że jest to również realne, oczywiście po spełnieniu kilku wymogów.

Przede wszystkim niezbędne jest wspomaganie finansowe całego programu od badań poczynając, na zakupie produktu finalnego kończąc. Wiadomo, że resort obrony nie jest w stanie udźwignąć finansowego ciężaru szerokiego wachlarza zaproponowanych programów badawczo-rozwojowych w tej dziedzinie. Dlatego też wysiłek powinien być skoncentrowany na kierunkach mogących przynieść określone efekty i mających wysokie prawdopodobieństwo wdrożenia do seryjnej produkcji. Ponadto w kosztach powinny partycypować inne resorty zainteresowane rozwojem tej sfery, jak choćby resort komunikacji czy spraw wewnętrznych.

Lukę technologiczną dzielącą nas od czołowych producentów, zniwelować można przez powiązania kooperacyjne z państwami dysponującymi nowoczesnymi technologiami oraz utrzymaniem nakładów finansowych na prace badawczo-rozwojowe na jednym (w miarę wysokim) poziomie, nawet kosztem dostaw nowej techniki. Faktem jest bowiem, iż dzisiejsze inwestycje w badaniach, stanowić będą o bezpieczeństwie naszego państwa w przyszłości.

Niewątpliwie pomocną byłaby promocja rządowa i polityczna wyrobów przemysłu zbrojeniowego oraz wsparcie ekonomiczne dla handlu uzbrojeniem, co czynią wszystkie kraje świata. Owo wsparcie powinno być w formie kredytów, gwarancji rządowych czy subwencji.

Uwzględnienie tych wymogów mogłoby w konsekwencji doprowadzić do realizacji m.in. programu przebudowy modelu rozpoznania i zakłóceń radiowych, stwarzając tym samym siłom i środkom związku operacyjnego, unikalne warunki zamknięcia procesu decyzyjnego obejmującego rozpoznanie, ocenę sytuacji operacyjnej, wypracowanie zamiaru, postawienie zadań, wykonanie uderzeń i ocenę jego skutków w całym obszarze działań operacyjnych i w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzone badania pozwoliły uzasadnić przyjęte hipotezy robocze. Wykazały, że podmiot rozpoznania i zakłóceń radiowych stanowią system dowodzenia wojskami i kierowania środkami walki innych państw, uległ znacznym przeobrażeniom technicznym i organizacyjnym na przestrzeni ostatnich lat. Owe przeobrażenia były dyktowane rosnącymi potrzebami w zakresie możliwości wymiany informacji na współczesnym polu walki oraz zwiększeniem niezawodności działania tych systemów.

Zmiany techniczne polegają na przechodzeniu w coraz wyższe zakresy częstotliwości radiowych, stosowaniu nowych modulacji i metod przekazu, wykorzystywaniu środków łączności radioliniowej i satelitarnej przez coraz niższe szczeble dowodzenia, powszechnej cyfryzacji urządzeń łączności i automatyzacji systemów.

Zmiany organizacyjne systemów dotyczą przechodzenia ze struktur hierarchicznych, z siłami i środkami dowiązanymi do stanowisk dowodzenia odpowiednich szczebli, na struktury równoległe wieloszczeblowe, integrujące oprócz dowodzenia i kierowania szereg innych funkcji, z elementami składowymi sieciowo rozproszonymi w całym pasie operacji. Znaczący wpływ na przeobrażenia wywarła również potrzeba zwiększenia mobilności statycznych z reguły systemów.

Badania również wykazały, że w efekcie zmian podmiotu oddziaływania, funkcjonujący model rozpoznania i zakłóceń związku operacyjnego, okazał się mało przydatny do wykonywania stojących przed nim zadań w walce i operacji.
Poszukiwania racjonalnych przyczyn wykazały, że niska wartość bojowa operacyjnych środków rozpoznania i zakłóceń radiowych wynika z ich przestarzałej konstrukcji, co wiąże się z niedostosowaniem do pasywnego i aktywnego oddziaływania na sytuację radioelektroniczną, jaką może stworzyć dobrze wyposażony i zorganizowany przeciwnik.

Ponadto, badania wykazały braki w zakresie przedsięwzięć obrony radioelektronicznej. Jest to zjawisko o tyle niepokojące, o ile stosowane substytuty w postaci tabel kodowych, przepisów korespondencji radiowej czy lokalizacji środków, są w swej istocie proste. Nie można więc oczekiwać, że zapewnią one własnym systemom choćby podstawowe warunki do pracy bojowej.

Inną słabą stroną funkcjonującego modelu jest przystosowanie prawie wszystkich jego urządzeń do pracy naziemnej. Taka ich lokacja, choćby z racji samych właściwości fizycznych rozprzestrzeniania się fal radiowych, znacznie ogranicza dostęp do przestrzeni radioelektronicznej, właściwą jej ocenę i możliwości oddziaływania.

Duża złożoność badanych systemów i wynikająca z tego interdyscyplinarność, wymagały odpowiedniego podejścia do problemów w celu uzyskania wiarygodnych wyników. Podporządkowanie badań welkościom mierzalnym przestrzeni wielowymiarowej stanowi próbę przezwyciężenia złożoności badań, wielostronnych i dynamicznie zmieniających się ich uwarunkowań oraz stworzenia uniwersalnych kryteriów i wiarygodnego aparatu pomiarowego. Takie ujęcie badanych problemów pozwoliło na sprecyzowanie wymagań stawianych przyszłemu modelowi oraz na dokonanie wyboru odpowiednich kryteriów oceny efektywności.

Uzyskane wyniki z matematyczną interpretacją wybranych problemów, pozwoliły stworzyć koncepcję przyszłego modelu rozpoznania i zakłóceń związku operacyjnego. Wymogom współczesnego i przyszłego pola walki, może sprostać zaprezentowany model. Jego realizacja umożliwi wykrywanie i lokalizację źródeł sygnałów, ich identyfikację, wypracowanie skutecznych form obezwładniania systemów dowodzenia i kierowania, umożliwi również realizację przedsięwzięć z zakresu obrony radioelektronicznej.

Owe rozwiązania wymagają jednak podjęcia szeregu prac badawczych i realizacyjnych. Uwzględniając jednak uwarunkowania ekonomiczne, potencjał naukowy i możliwości technologiczne rodzimego przemysłu, przedstawiona koncepcja modelu może stanowić odległą przyszłość. Uwzględniając jednak prezentowane argumenty, uzasadniona jest potrzeba podjęcia tych badań i praktyczna realizacja proponowanych rozwiązań.

Przedstawiona w rozprawie koncepcja modelu i uporządkowany materiał, nie pretenduje do rozwiązania optymalnego. Opracowane wieloetapowe fazy realizacji programu przebudowy modelu, mogą się okazać pomocne w tym procesie, bądź zostać odrzucone przez decydentów, stanowią bowiem jedynie uzasadnioną wizję autora.

Przeprowadzone badania pozwoliły jednak zrealizować cel rozprawy dając, zdaniem autora, odpowiedzi na poszczególne pytania problemowe. W rozprawie zawarto metodologię badań złożonych procesów oraz wprowadzono elementy częściowo nowe, stanowiące dorobek autora. Zaliczyć do nich należy:

- interdyscyplinarne potraktowanie przedmiotu badań;
- podporządkowanie badań wielkościom mierzalnym przestrzeni wielowymiarowej;
- uporządkowanie widma elektromagnetycznego;
- wybór najnowszych rozwiązań z całego zakresu problematyki;
- niekonwencjonalna koncepcja faz realizacji programu przebudowy modelu.

Fazy realizacji, zdaniem autora, mogą być wykorzystywane w programach badawczych i wdrożeniowych dowolnych systemów czy pojedynczych egzemplarzy sprzętu. W przypadku modelu, realizacja proponowanego programu, mogłaby stworzyć siłom i środkom związku operacyjnego, unikalne warunki zamknięcia procesu decyzyjnego obejmującego rozpoznanie, ocenę sytuacji radioelektronicznej, wypracowanie zamiaru, postawienie zadań, wykonanie uderzenia ogniowego lub radioelektronicznego i ocenę jego skutków w całym obszarze jego zainteresowania.

BIBLIOGRAFIA

1. Album schematów ćwiczebnych. Warszawa, Szt. Gen. 1986.
2. Aloksa W., Sznajzycht W.: Badania kompatybilności obiektów radiowych. Warszawa, WPT 10/1986.
3. Alter S.: Decision Support Systems: Current Practics and Continuing Chellenges. Addison - Wesley, Reading (Mass.) 1980.
4. Babula J.: Kierunki doskonalenia dowodzenia wojskami. Myśl Wojskowa 10/1988.
5. Balcerowicz B., Pawłowski J., Marczak J.: Koncepcja strategiczna obrony Polski. Warszawa, AON 1991.
6. Barczak A.: Komputerowe gry wojenne - rozwój, projektowanie, wykorzystywanie. Dydaktyka Wyższej Szkoły Wojskowej, 10/1990.
7. Barczak A.: Systemy ekspertowe wkraczają w rzeczywistość. Materiały II ogólnopolskiej konferencji nt.: "Sztuczna inteligencja" CiR 1992. Siedlce, WSPR, 1992.
8. Barczak A.: Tendencje rozwojowe systemów informatycznych. Systemy ekspertowe. Materiały konferencji naukowej nt.: "Rozwój telekomunikacji a perspektywy społeczeństwa informacyjnego". Zegrze, WSOWŁ 1990.
9. Bennet J.L.: Analisys and Design of the User Interface for Decision Support Systems (w: Bennet J.L.: Building Decision Support Systems. Addison - Wesley, Reading (Mass.) 1983.
10. Borzycki K.: Metody zapewnienia wysokiej jakości i niezawodności transmisji w sieciach SDH. Przegląd Telekomunikacyjny nr 4/1992.
11. Brzostek W.: Analiza możliwości zastosowania symulacji w procesie badań systemu WRE. Warszawa, ASG WP 1984.
12. Brzostek W.: Armijny system obezwładniania radioelektronicznego środków i systemów dowodzenia przeciwnika. Rozprawa habilitacyjna. Warszawa, ASG WP 1981.
13. Brzostek W., Dudziak J.: Wykorzystanie ETO w procesie planowania i organizacji łączności radiowej na szczeblu dywizji (streszczenie zamieszczone w: Zastoso wanie symulacji na EMC do badania systemów łączności). Warszawa, WAT 1976.

14. Brzostek W.: Rozmieszczenie elementów systemu rozpoznania radiowego frontu w okresie operacyjnego rozwinięcia wojsk. Rozprawa doktorska. Warszawa, ASG WP 1979.
15. Brzostek W.: System walki radioelektronicznej w działaniach bojowych (operacji). Warszawa, ASG WP 1981.
16. Ciborowski L.: Optymalizacja krótkofalowego namierzania radiowego jednolitego systemu rozpoznania radioelektronicznego WP. Rozprawa doktorska. Warszawa, ASG WP 1984.
17. Ciborowski L.: Rozpoznanie radioelektroniczne szczebla taktycznego wojsk lądowych i metodyka obliczania efektywności krótkofalowego rozpoznania radiowego. Rozprawa habilitacyjna. Warszawa, ASG WP 1990.
18. Dąbrowski A.: Systemy teletransmisyjne - ewolucja w kierunku SDH. Warszawa, Przegląd Telekomunikacyjny nr 7/1992.
19. Drużyński W., Kantorow D.: Idea, algorytm, decyzja. Warszawa, BWW 1975.
20. Dudek Z.T.: Wyposażenie sieci telekomunikacyjnej w wojnie nad Zatoką Perską. Warszawa, Wiadomości Telekomunikacyjne nr 10/92.
21. Elliott R.D.: The integrated tactical data network. Signal, March 1989.
22. Findeisen W.: Analiza systemowa - podstawy i metodologia. Warszawa, PWN, 1985.
23. Głąb R., Gniłka M.: Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania środkmi walki. Warszawa, Myśl Wojskowa 8/1980.
24. Gorłow A.I.: Smirnow S.S.: O wpływie automatyzacji na pracę organów dowodzenia. Moskwa, Wojennaja Myśl 12/1984.
25. Gryciuk P.: Doskonalenie metod oceny zagrożenia radioelektronicznego i uodpornienia systemu łączności dywizji (DZ, DPanc) z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Rozprawa doktorska. Warszawa, ASG WP 1987.
26. Hahn D.: Planowanie z uwzględnieniem wielkości celów. Organizacja, metody i techniki kierowania. Wrocław, Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej 1978.
27. Instrukcja pracy bojowej pułku zakłóceń radiowych (batalionu zakłóceń taktycznych). Warszawa, Szt. Gen. 1976.
28. Informator o siłach zbrojnych państ sąsiednich. Warszawa GZSB 1993.

29. Integracja systemów walki radioelektronicznej i rozpoznania radioelektronicznego. Warszawa, Myśl Wojskowa nr 2/1974.
30. Jaroń K.: Zasady algorytmizacji zadań wojskowych. Warszawa, ASG WP 1972.
31. Jaskóła R.: Doświadczenia i wnioski wojsk łączności z ćwiczenia "Lato-84". Warszawa, Myśl Wojskowa 2/1984 (tajna).
32. Jędruszczak S.: Analiza przepustowości systemu łączności DZ w natarciu. Rozprawa doktorska. Warszawa, ASG WP 1983.
33. Kierowanie walką radioelektroniczną na szczeblu taktycznym i operacyjnym. Warszawa ASG WP 1981.
34. Kisielnicki J.: Ekonomiczne problemy zautomatyzowanych systemów zarządzania. Warszawa, PWE 1981.
35. Kitkowski H.: O ograniczeniu pracy środków radiowych w zakresie nadawania. Warszawa, Myśl Wojskowa 12/1975.
36. Klimek Z.: Prognoza problemowa rozwoju techniki wojskowej do 1995 (2005) roku, w zakresie wymagań systemowych stawianych środkom systemów łączności i automatyzacji dowodzenia. WIŁ, Zegrze 1977.
37. Kłykow J.I.: Dialogowe semiotyczne systemy podejmowania decyzji. PWN, Warszawa 1988.
38. Kompendium sił zbrojnych państw NATO. MON, Warszawa 1987.
39. Konieczny J.: Inżynieria systemów działania. WNT, Warszawa 1983.
40. Konieczny J.: Modele matematyczne systemów. WAT, Warszawa 1982.
41. Konieczny J.: Modele ocenowe systemów. WAT, Warszawa 1983.
42. Kotarbiński T.: Traktat o dobrej robocie. Ossolineum, Warszawa 1969.
43. Kowalewski M.: Doskonalenie polowego systemu łączności dywizji pancernej drugiego rzutu operacyjnego armii w operacji obronnej. Rozprawa doktorska, ASG WP, Warszawa 1989.
44. Koźmiński A.: Analiza systemowa w organizacji. PWE, Warszawa 1979.
45. Kruszyński M.: Działania bojowe pułku zakłóceń radiowych. ASG WP, Warszawa, 1984.
46. Kubacki T.: Metodologia projektowania systemów informatycznych . Analiza systemów zarządzania. WAT, Warszawa 1988.

47. Kulikowski R.: red.: Komputerowe systemy i metody wspomagające podejmowanie decyzji. Materiały konferencyjne, Warszawa 26-30.10.1987. PAN Instytut Badań Systemowych. Warszawa 1988.
48. Latek J.: Ocena efektywności perspektywicznego taktycznego systemu łączności metodą symulacji komputerowej. Rozprawa doktorska, ASG WP, Warszawa 1989.
49. Łokociejewski M.: Organizacja i prowadzenie rozpoznania radioelektronicznego siłami i środkami oddziałów i pododdziałów rozpoznania oraz zakłóceń radioelektronicznych w operacji zaczepnej armii. Rozprawa doktorska, ASG WP, Warszawa 1990.
50. Magnucki Z.: Użycie sił i środków walki radioelektronicznej w systemie osłony radioelektronicznej armii. ASG WP, Warszawa 1983.
51. Marquis Dennis C.: Nowe ogólne kierunki rozwoju systemu dowodzenia, kierowania i łączności sił zbrojnych NATO. WPZ 1/1984.
52. Materiały z ćwiczeń POW z udziałem batalionu rozpoznania radioelektronicznego oraz batalionu zakłóceń radiowych w latach 1981-1990. Dokumenty nieopubliko wane.
53. Materiały z ćwiczeń ŚOW z udziałem batalionu rozpoznania radioelektronicznego oraz batalionu zakłóceń radiowych w latach 1981-1990. Dokumenty nieopubliko wane.
54. Materiały z konferencji nt. Systemy telekomunikacyjne. Bydgoszcz 1992.
55. Materiały z sympozjum naukowego odbytego w ASG WP w 1984 roku nt.: Teoria podejmowania decyzji. ASG WP, Warszawa 1984.
56. Metody i systemy wspomagania decyzji. (Od redakcji). Nauki o zarządzaniu 2/1987.
57. Metodyka oceny efektywności rozpoznania radioelektronicznego. MON, Warszawa 1980.
58. Metodyki obliczeń operacyjno-taktycznych obezwładniania radioelektronicznego, Szt. Gen. WP, Warszawa 1979.
59. Miciński L.: Wnioski i doświadczenia z automatyzacji dowodzenia wojskami w ćwiczeniu "Lato-84". Myśl Wojskowa 2/1984 (tajna).
60. Miller J.: Komputeryzacja łączności. WKŁ, Warszawa 1983.
61. Morbitzer J.: Systemy doradcze. IKS 1/1988.

62. Nowakowski A.: Projektowanie dialogu w systemach wspomagania decyzji. III ogólnopolskie konserwatorium pt.: Sztuczna inteligencja i rozwój systemów. Warszawa, Siedlce 1988.

63. Nożko K.: Operacja obronna armii. ASG WP, Warszawa, 1989.

64. Ocena możliwości oddziaływania sił i środków WRE SZ państw NATO na system łączności w walce i operacji SUŁ, MON, 1985.

65. Organizacja i prowadzenie rozpoznania radioelektronicznego (pułk - batalion rozpoznania radioelektronicznego). MON, Warszawa 1979.

66. Paczóski J.: Techniczne systemy dowodzenia i kierowania w operacji wojennej "Pustynna Burza", Wiadomości Telekomunikacyjne nr 10/92.

67. Partyka A., Peszyńska M.: Koncepcja i rozwój systemu wspomagania decyzji organizacyjnych "ORGPLAN". PAN, Instytut Badań Systemowych. Materiały konferencyjne, Warszawa 1987.

68. Patkowski K.: Perspektywiczne systemy łączności uwzględniające przewidywane wymagania taktyczno-operacyjne dowodzenia wojskami. Praca naukowo-badawcza. ASG WP, Warszawa 1983.

69. Patkowski K.: Podręcznik łączności cz. I, Zasady ogólne organizacji łączności. ASG WP, Warszawa 1985.

70. Patkowski K., Sikorski E., Poleski W.: Wykorzystanie środków technicznych w polowych systemach łączności. ASG WP, Warszawa 1981.

71. Pengelly R.B.: Przekazywanie meldunków przez techniczne środki łączności na szczeblach taktycznych. WPZ 4/1979.

72. Piekarski H.: Planowanie walki radioelektronicznej na szczeblach operacyjnych. Zeszyt Naukowy 2/74, ASG WP, Warszawa 1980.

73. Piekarski H.: Wybrane problemy dowodzenia wojskami. Myśl Wojskowa 2/1986.

74. Piekarski H.: Założenia i zasady walki radioelektronicznej. ASG WP, Warszawa 1978.

75. Piekarski H., Kruszyński M.: Problemy współdziałania sił i środków walki radioelektronicznej na współczesnym polu walki. Myśl Wojskowa nr 3, Warszawa 1987.

76. Pieter J.: Ogólna metodologia pracy naukowej. Ossolineum, Wrocław 1967.

77. Piotrowski S.: Rozwój teorii dowodzenia wojskami w perspektywie 10-15 lat (1990-2000/2005) i 20-25 lat (1990-2010/2015) "Prognoza-3", ASG WP, Warszawa 1986.
78. Podstawowe kalkulacje operacyjno-taktyczne. MON, Warszawa 1987.
79. Poleski W., Bryliński W.: Planowanie wykorzystania częstotliwości radioliniowych w systemie łączności szczebli operacyjnych i taktycznych z zapewnieniem kompatybilności elektromagnetycznej. Rozprawa doktorska, ASG WP, Warszawa 1986.
80. Polowe węzły łączności związków taktycznych, oddziałów i pododdziałów. Toml. Szefostwo Wojsk Łączności MON, Warszawa 1984.
81. Poradnik oficera rozpoznania radioelektronicznego wojsk obrony przeciwlotniczej. OPK, Warszawa 1990.
82. Praca zbiorowa: Metodyka wojskowych badań naukowych. ASG WP, Warszawa 1983.
83. Praca zbiorowa: Kompatybilność elektromagnetyczna w radiotechnice. WKiŁ, Warszawa 1978.
84. Praca zbiorowa: Taktyka ogólna. Podręcznik. ASG WP, Warszawa 1988.
85. Przebieg oraz doświadczenia i wnioski z wojny w rejonie Zatoki Perskiej, MON, Warszawa 1991.
86. Pytkowski W.: Organizacja badań i ocena prac naukowych. PWN, Warszawa 1985.
87. Radzikowski W.: Komputerowe systemy wspomagania decyzji. PWE, Warszawa 1990.
88. Regulamin walki wojsk lądowych Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej cz. I (dywizja, pułk). MON, Warszawa 1985.
89. Respondek M.: Metodologiczne problemy kierowania (dowodzenia, zarządzania) systemami działań w wojsku. ASG WP, Warszawa 1984.
90. Rolland C.: Bazy danych. Od koncepcji do realizacji. PWE, Warszawa 1988.
91. Rozpoznanie radioelektroniczne. Zeszyt nr 1 (Systemy radioelektroniczne narodowych i połączonych sił zbrojnych państw NATO), MON, Warszawa 1987.

92. Rozpoznanie radioelektroniczne. Zeszyt nr 2 (Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania narodowych i połączonych sił zbrojnych NATO w Europie), Warszawa 1990.

93. Sienkiewicz P.: Inżynieria systemów kierowania. PWE, Warszawa 1988.

94. Sienkiewicz P.: Inżynieria systemów - wybrane zastosowania wojskowe. MON, Warszawa 1983.

95. Sienkiewicz P.: Systemy kierowania. Wiedza Powszechna, Warszawa 1989.

96. Sienkiewicz P.: Teoria efektywności systemów kierowania. ASG WP, Warszawa 1979.

97. Sienkiewicz P.: Teoria efektywności systemów. Ossolineum, Wrocław 1985.

98. Sikorski K.: Doskonalenie obrony radioelektronicznej dywizji zmechanizowanej w obronie w początkowym okresie wojny, Rozprawa doktorska, ASG WP, Warszawa 1989.

99. Siły i środki walki radioelektronicznej sił zbrojnych państw NATO. MON, Warszawa 1989.

100. Smakulski E., Lenert M.: Model systemu łączności korpusu wojsk lądowych (system łączności korpusu zmechanizowanego wyposażonego w środki łączności cyfrowej i zautomatyzowanego systemu dowodzenia wojskami). Rozprawa doktorska, AON, 1993.

101. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej "Opracowanie struktury, zasad budowy i działania oraz ogólnych algorytmów działania zautomatyzowanego systemu kierowania systemem i wojskami łączności". WAT, Warszawa 1987.

102. Sroka H., Stanek S.: Dialog decydent - komputer w ramach systemu wspoma gania decyzji. PAN Instytut Badań Systemowych, Warszawa 1987.

103. Stachyra A.: System dowodzenia a organizacja przetwarzania danych. Myśl Wojskowa 11/1981.

104. Straszak A.: Systemy wspomagania procesów decyzyjnych w świetle 50-letniej historii badań operacyjnych i systemowych oraz perspektywy na najbliższych 10-15 lat. PAN Instytut Badań Systemowych, Warszawa 1987.

105. Stokalski A., Szczepaniak M.: Rozwój zautomatyzowanych polowych systemów dowodzenia i kierowania środkami walki. Myśl Wojskowa (tajna) wydanie specjalne. XXV-lecie informatyki wojskowej. Warszawa 1987.

106. Sumera B.: Kierowanie walką radioelektroniczną na szczeblu taktycznym i operacyjnym. ASG WP, Warszawa 1981.

107. Sundaram G.S.: Zautomatyzowane systemy dowodzenia państw NATO. WPZ 2/1981.

108. Syc C. (red.): Metodyka projektowania sieci telekomunikacyjnych. WKiŁ, Warszawa 1977.

109. Tendencje rozwojowe w technice bojowej głównych państw zachodnich. Warszawa, wyd. MON 1991.

110. Telep J.: Doskonalenie osłony radioelektronicznej obiektów w ugrupowaniu operacyjnym armii w operacji zaczepnej. Rozprawa habilitacyjna, ASG WP, 1985.

111. Telep J.: Przewaga radioelektroniczna. Myśl Wojskowa nr 12/87. 112. Tymczasowa instrukcja organizacji i funkcjonowania połączonego stanowiska dowodzenia armijnego batalionu rozpoznania radioelektronicznego i batalionu zakłóceń radiowych. POW, Bydgoszcz 1988.

113. Współdziałanie w procesie organizacji i prowadzenia walki radioelektronicznej. GZSB, Warszawa 1982.

114. Wybrane materiały z dorocznej odprawy szkoleniowej kierowniczej kadry WRE Sił Zbrojnych PRL. Zarząd I Szt. Gen. 1984.

115. Vademecum uzbrojenia sił zbrojnych Krajów WNP. Szt. Gen. Warszawa 1992.

116. Zacharow G.: Mietody isledowanija sieti pieriedaczi dannych. Radiowi swiaz. Moskwa 1985.

117. Zakres pracy wydziału walki radioelektronicznej sztabu armii. ASG WP, Warszawa 1980.

118. Zasady organizacji i prowadzenia walki radioelektronicznej. Wyd. MON, Warszawa 1991.

119. Ziomek K.: Analiza efektywności systemów łączności. Zeszyty Naukowe ASG WP nr 4(55)88, Warszawa 1988.

120. Ziomek K.: Żywotność systemów łączności. Myśl Wojskowa 2/1987.

AON nr 621/WW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 54842
Akademii Obrony Narodowej