

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

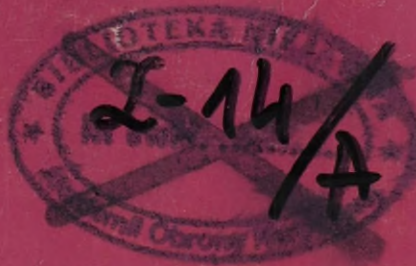


AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

JAWNE

Egz. Nr.....1

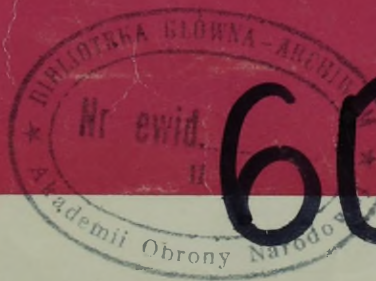


PRACA NAUKOWO-BADAWCZA

ZWIĘKSZENIE EFEKTYWNOŚCI
DOWODZENIA WOJSKAMI LĄDOWYMI
W WYNIKU OPTIMALIZACJI
ICH WYPOSAŻENIA W TECHNICZNE
ŚRODKI ŁĄCZNOŚCI DO 1980 r.

Część I

Zasady planowania rozdziału
częstotliwości radiowych z uwzględnieniem
kompatybilności elektromagnetycznej



60654

WARSZAWA MARZEC 1980

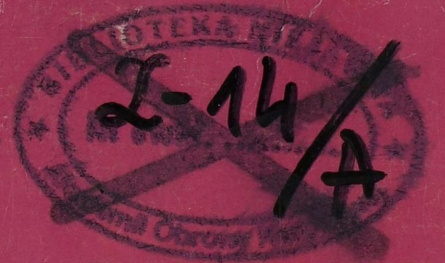




**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

JAWNE

Egz. Nr.....1

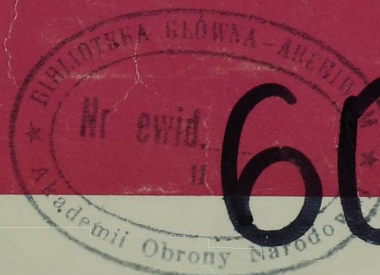


PRACA NAUKOWO-BADAWCZA

**ZWIĘKSZENIE EFEKTYWNOŚCI
DOWODZENIA WOJSKAMI LĄDOWYMI
W WYNIKU OPTYMALIZACJI
ICH WYPOSAŻENIA W TECHNICZNE
ŚRODKI ŁĄCZNOŚCI DO 1980 r.**

Część I

**Zasady planowania rozdziału
częstotliwości radiowych z uwzględnieniem
kompatybilności elektromagnetycznej**



60654

WARSZAWA MARZEC 1980



WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
KATEDRA TAKTYKI WOJSK ŁĄCZNOŚCI

JAWNE

ZASTRZEŻONE

POUFNE

Egz.nr 1

~~Zad do pisma Nr 02337
Nr 4 z dnia 1981 r.~~

1402006 Anna KOLEK
Podj. prot. med. nowch 648
z dn. 24.02.2006

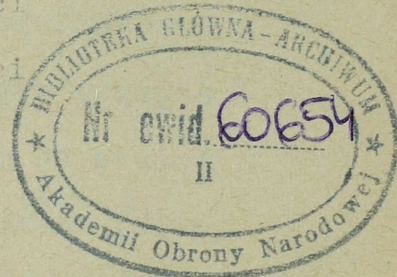


PRACA NAUKOWA - BADAWCZA

"Zwiększenie efektywności dowodzenia wojskami lądowymi
w wyniku optymalizacji ich wyposażenia w techniczne
środki łączności do 1980 r".

Archiwum

Część I: Zasady planowania rozdziału częstotliwości
radiowych z uwzględnieniem kompatybilności
elektromagnetycznej.



Zespół wykonawczy:

- kierownik - płk dypl. mgr inż. K. PATKOWSKI
- członkowie - ppłk dr W. BRYLIŃSKI
- mjr dypl. H. STAROBRAT
- kpt. mgr inż. W. POLESKI
- kpt. dypl. P. GRYCIUK

*Przebieg pilnowania
na "ZASTRZEŻONE"
27.01.2003
ppłk W. Kerkowicz*

W czasie działań wojennych o ile nie zostaną obezwładnione, będą one intensywnie wykorzystywane przez walczące strony /np. radiofonia, telewizja itp./;

2. równoległe z pracą naszych środków radiowych, przeciwnik będzie eksploatował własne środki łączności, w których siatka częstotliwości i zakresy częstotliwości są identyczne lub zbliżone do parametrów jakimi dysponuje nasz sprzęt;
3. dodatkowym źródłem niepożądanych sygnałów będą własne środki walki radioelektronicznej.

Minister Obrony Narodowej, omawiając ćwiczenie "TARCZA-76" podkreślił, że aktualnie kształtuje się czwarty wymiar prowadzenia walki. Obok działań prowadzonych na lądzie, morzu i w powietrzu, podejmowane są przedsięwzięcia zmierzające do rozszerzenia ich na nową sferę tzw. "eter".

Walka o panowanie w "eterze" jest prowadzona od wielu lat przez zespoły naukowo - badawcze, konstrukcyjne i doświadczalnie - badawcze. Równocześnie uwzględnia się ją w szkoleniu wojsk, w strukturach organizacyjno - etatowych wojsk łączności itp. Wydanie przez Sztab Zjednoczonych Sił Zbrojnych projektu instrukcji, omawiającej sposoby zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej na polu walki, w której obowiązek kierowania omawianymi przedsięwzięciami nakłada się na szefów sztabów związków taktycznych i operacyjnych - świadczy najdobitniej o ich randze.

Zasady planowania rozdziału częstotliwości z uwzględnieniem kompatybilności elektromagnetycznej zostaną rozpatrzone w skali armii.

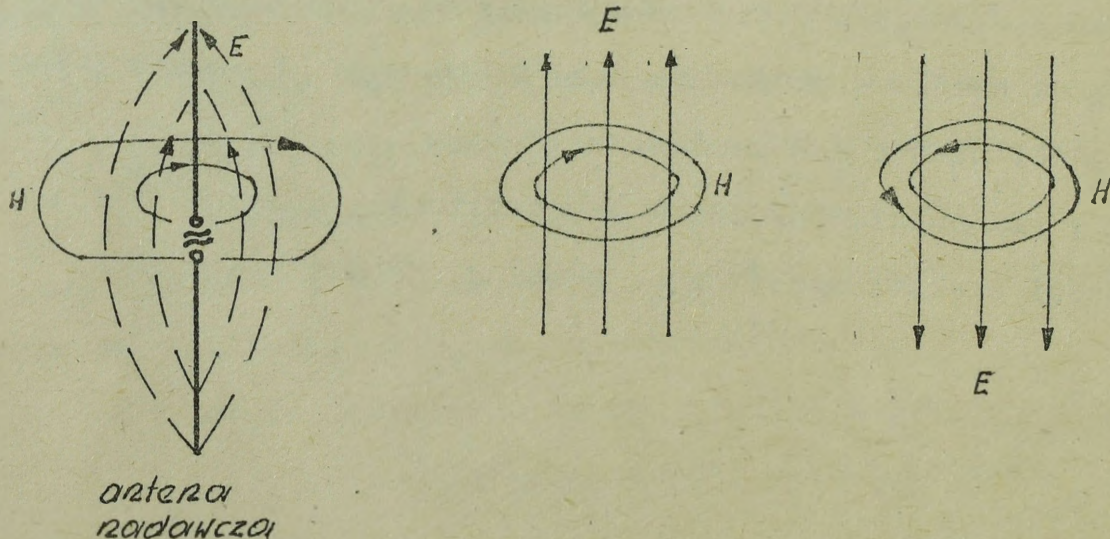
II. WŁAŚCIWOŚCI PROPAGACJI FAL RADIOWYCH.

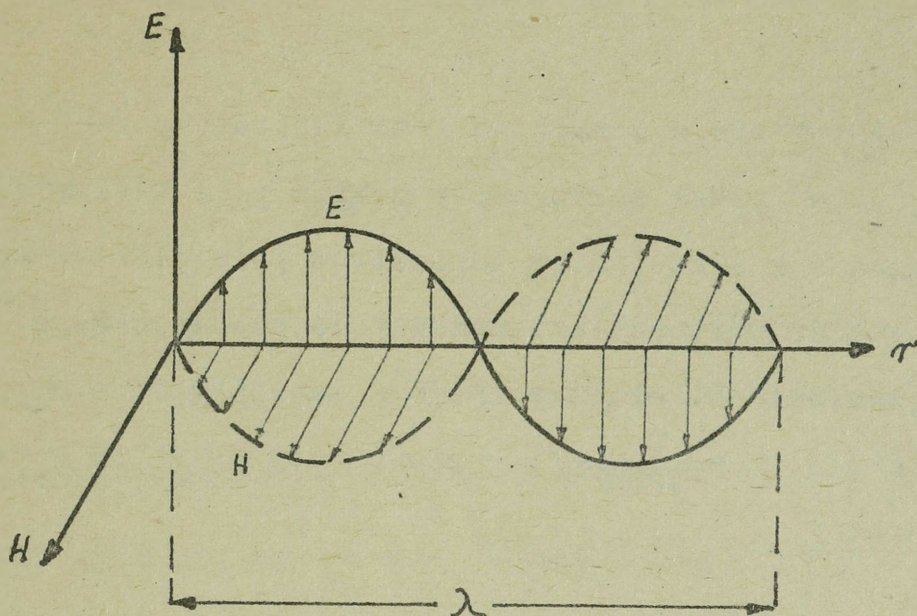
=====

Rozprzestrzenianie się fal radiowych jest zależne od szeregu czynników pozostających poza wpływem ludzkim, a więc możliwościami oddziaływania na nie. Występują one obiektywnie, a ich wpływ charakteryzują prawa fizyki. Znajomość zasad propagacji fal radiowych jest zasadniczym warunkiem poprawnego planowania i kierowania eksploatacją łączności radiowej. Dlatego też nawet pobieżny przegląd warunków propagacji fal radiowych jest nieodzowny, aby można było sprecyzować zasady rozdziału częstotliwości.

Fale radiowe są falami elektromagnetycznymi o największych długościach fal. Fala radiowa stanowi wzajemnie skojarzone pole elektryczne i magnetyczne, rozprzestrzeniające się w atmosferze z prędkością światła, tj. 300 tysięcy km/sek. Proces rozprzestrzeniania się fal radiowych polega na wywoływaniu w kolejnych obszarach przestrzeni zmiennych pól magnetycznych przez pole elektryczne i odwrotnie - pól elektrycznych przez pola magnetyczne.

Długość trasy, na której odbywa się pełny cykl zmiany składowych fali elektromagnetycznej rozprzestrzeniającej się z uprzednio podaną prędkością, nazywa się długością fali.





Rys.1. Propagacja fal radiowych /E - natężenie pola elektrycznego wyrażone w $\frac{V}{m}$, $\frac{mV}{m}$ i $\frac{\mu V}{m}$; H - natężenie pola magnetycznego wyrażone w $\frac{A}{m}$, $\frac{mA}{m}$; $\frac{\mu A}{m}$; λ - długość fali wyrażona w km, m, cm, mm/.

Pomiędzy generowaną przez nadajnik częstotliwością i długością fali występuje ścisła współzależność określona ze wzoru^{x/}:

$$\lambda_{/m/} = \frac{300}{f_{/MHz/}} ; \quad f_{/MHz/} = \frac{300}{\lambda_{/m/}}$$

Pole elektryczne jest charakteryzowane również gęstością mocy /S/, tj. ilością mocy elektromagnetycznej przypadającej na jednostkę powierzchni i określa się ze wzoru:

$$S = E \cdot H$$

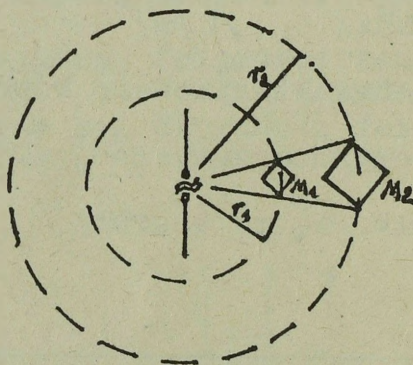
x/ Podane wzory odnoszą się do próżni i atmosfery, w innych środowiskach szybkość rozprzestrzeniania się fal jest mniejsza i występują inne zależności.

Gęstość mocy mierzy się w watach na metr kwadratowy $[\frac{W}{m^2}]$.
W praktyce, ze względu na wyższą sprawność pomiarów pola elektrycznego, obliczenia związane z określeniem parametrów pola elektromagnetycznego są odnoszone do wartości natężenia pola elektrycznego. Ponieważ między natężeniami pól elektrycznego i magnetycznego występuje ścisła zależność /tj. $H = \frac{E}{120\pi}$ /, gęstość mocy może być również wyrażona ze wzoru:

$$S = \frac{E^2}{120\pi}$$

Rozpatrzmy wpierw zachowanie się fali radiowej w fikcyjnym środowisku - w próżni o nieograniczonej przestrzeni, zwanej także wolną przestrzenią.

Fala radiowa wypromieniowana za pomocą anteny izotropowej /antena promieniująca energię we wszystkich kierunkach równomiernie/ będzie rozprzestrzeniać się w wolnej przestrzeni bez strat energetycznych we wszystkich kierunkach. Nastąpi jedynie ze wzrostem odległości rozproszenie energii w coraz obszerniejszej przestrzeni.



Rys.2. Rozproszenie energii w wolnej przestrzeni /na powierzchni M_1 i M_2 wydzielili się ta sama moc, jednak M_2 jest znacznie większa od M_1 . Oznacza to, że moc fali elektromagnetycznej w odległości r_1 jest znacznie większa od mocy w odległości r_2 /.

Gęstość mocy przypadającej na jednostkę powierzchni kuli-
stej w odległości "r" wyniesie:

$$S = \frac{P / \text{W} /}{4 \pi r^2 / \text{m}^2 /} \quad / \quad \frac{W}{\text{m}^2} /$$

gdzie:

P - moc wypromieniowana przez antenę izotropową

$4\pi r^2$ - powierzchnia kuli w odległości " r ".

Ponieważ gęstość mocy określa się również z zależności $S = \frac{E^2}{120\pi}$

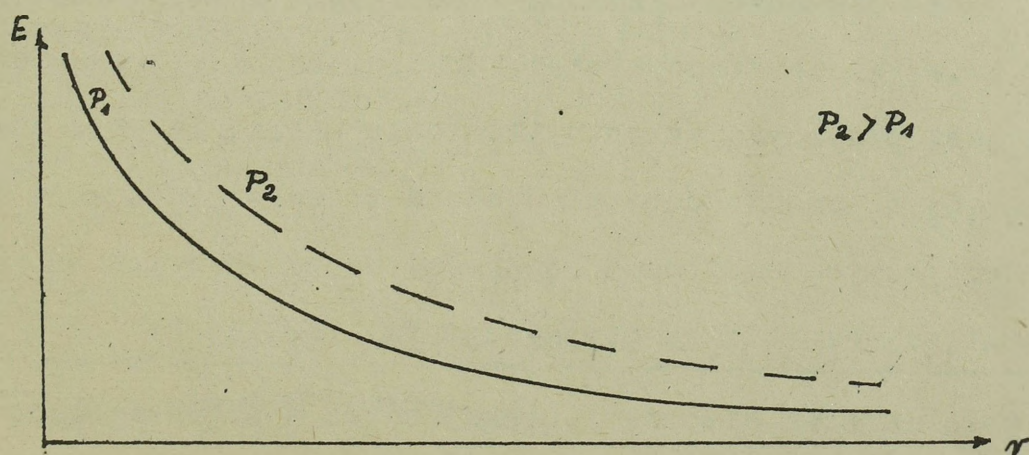
wobec tego możemy dokonać następującego przekształcenia:

$$\frac{E^2}{120\pi} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Z uzyskanego równania można określić natężenie pola elektrycznego w wolnej przestrzeni w dowolnej odległości od anteny izotropowej:

$$E / \frac{\text{V}}{\text{m}} / = \frac{\sqrt{30 P / \text{W} /}}{r / \text{m} /} \quad \text{lub} \quad E / \frac{\text{mV}}{\text{m}} / = \frac{173 \sqrt{P / \text{KW} /}}{r / \text{km} /}$$

Natężenie pola elektrycznego w wolnej przestrzeni ubywa odwrotnie proporcjonalnie do wzrostu odległości od anteny izotropowej.



Rys.3. Wykres zmiany natężenia pola elektromagnetycznego w funkcji odległości i mocy.

Przedstawione dla wolnej przestrzeni zasady propagacji fal radiowych pozwalają określić podstawowe parametry pola elektromagnetycznego.

W rzeczywistości fale radiowe rozprzestrzeniają się w środowisku znacznie różniącym się od wolnej przestrzeni, tj:

- na styku dwóch różnych środowisk: atmosfery i ziemi.

Należy przy tym wziąć pod uwagę kulisty kształt i niejednorodność ziemi /lądy, morza, gleby suche i wilgotne, bez pokrycia i porośnięte fauną, góryste oraz nizinne/;

- poprzez troposferę^{x/} charakteryzującą się zmiennymi parametrami /ciśnienie, wilgotność i temperatura/;
- poprzez jonosferę^{xx/}, której stopień jonizacji zależy od nasłonecznienia ziemi. Nasłonecznienie jonosfery zmienia się w cyklach dobowych /ze względu na obroty ziemi wokół swojej osi i w konsekwencji zmiany nasłonecznienia poszczególnych obszarów/, rocznych /ze względu na zmianę odległości pomiędzy słońcem i ziemią w czasie przemieszczania się ziemi po orbicie okołosłonecznej, a także zmiany kąta nachylenia ziemi w stosunku do słońca/i 11-letniej aktywności słonecznej /zmiany ilości tzw. plam słonecznych/.

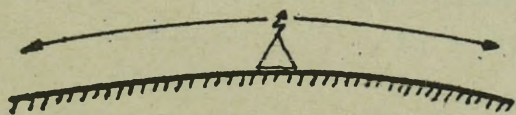
Oddziaływanie rzeczywistego środowiska na propagację fal radiowych jest przyczyną wzrostu tłumienia natężenia pola elektromagnetycznego, a ponadto determinuje ono sposoby propagacji fal.

W wojskowych systemach łączności wojsk lądowych są wykorzystywane następujące rodzaje propagacji fal radiowych:

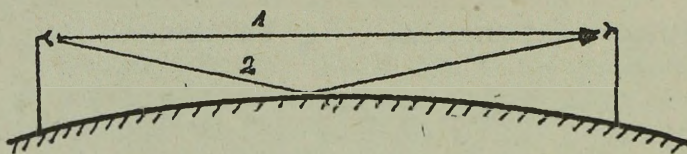
x/ najniższa warstwa atmosfery, sięgająca do wysokości około 15 km.

xx/ najwyższa warstwa atmosfery, zalegająca na wysokościach od 60 do 600 km.

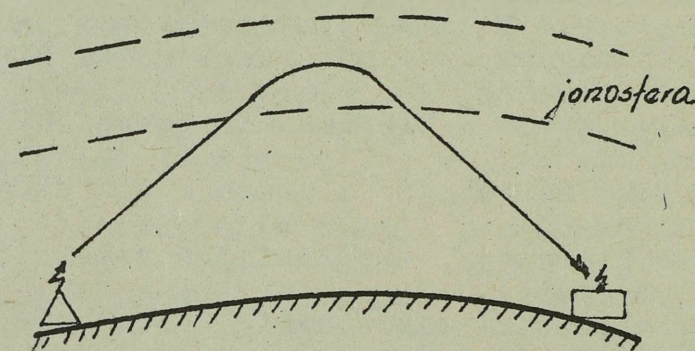
- fale przyziemne, wykorzystywane w łączności krótkofalowej i ultrakrótkofalowej, które w zależności od wysokości zawieszenia anten mogą rozprzestrzeniać się bezpośrednio nad powierzchnią ziemi - tzw. fale powierzchniowe oraz w pewnej odległości od ziemi - tzw. fale przestrzenne.
- Obok tych dwóch podstawowych rodzajów fal przyziemnych można wyodrębnić pośredni rodzaj - fala przyziemna typu ogólnego;
- fale jonosferyczne, które są wykorzystywane przede wszystkim w łączności krótkofalowej. Wypromieniowana przez antenę nadawczą fala elektromagnetyczna rozprzestrzenia się pionowo lub pod określonym kątem w kierunku do jonosfery, w niej załamuje się /zjawisko refrakcji/ i wraca z powrotem na ziemię /do anteny odbiorczej/, umożliwiając zapewnienie łączności pomiędzy obiektami naziemnymi. Oprócz propagacji fal jonosferycznych przez refrakcję, różnią się jeszcze propagacją jonosferyczną przez rozproszenie w zakresie fal metrowych /radiostacja R-121 stosowana w wojskach OPK o zasięgu około 250 km/;
- fale troposferyczne, które są wykorzystywane w łączności ultrakrótkofalowej /np. R-137/. Fale docierają do punktu odbioru za pośrednictwem troposfery w wyniku jej rozproszenia /lub seperrefrakcji/.



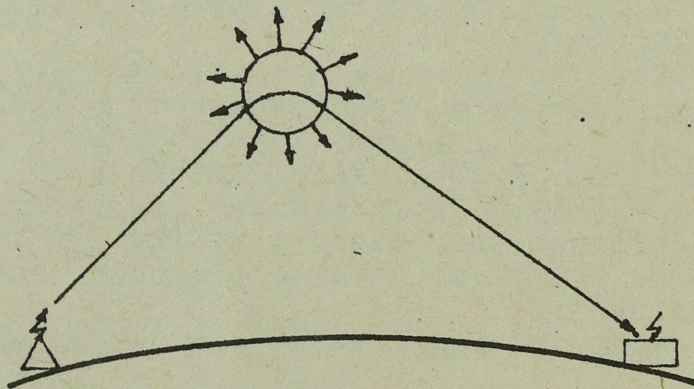
a/ fala powierzchniowa



b/ fala przestrzenna /1 - fala bezpośrednia, 2 - fala odbita od ziemi/.



c/ fala jonosferyczna.



d/ fala troposferyczna /propagacja przez rozproszenie w troposferze/.

Rys.4. Rodzaje propagacji fal radiowych stosowane w wojskach lądowych.

1. Fala powierzchniowa

Fala powierzchniowa występuje wówczas gdy wysokość zawieszenia anten $/h_{ant}$ / jest mniejsza od długości fali roboczej $/\lambda$ /, tzn. gdy występuje nierówność: $h_{ant} \ll \lambda$ x/

Do propagacji fali powierzchniowej wykorzystywane są anteny, które zapewniają skupienie wypromieniowanej energii przede wszystkim w płaszczyźnie poziomej/np. antena prętowa, skośny promień, typu "T" itp./.

W wojskowych radiostacjach długości fal mogą wahać się od 300m

x/ Podaną nierówność w sposób bardziej precyzyjny określa się jako:

$$h_n \cdot h_o \ll h_m^2$$

gdzie: h_n - wysokość zawieszenia anteny nadawczej;

h_o - wysokość zawieszenia anteny odbiorczej;

h_m - wzniesienie pozorne anteny zależne od długości fali i parametrów gruntu, określane ze wzoru /dla polaryzacji pionowej anteny/:

$$h_m = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon + 1/2} + 160\sigma\lambda/2}$$

λ - długość fali /w m/;

ϵ - względna przenikalność dielektryczna/dla gruntów wilgotnych - $\epsilon = 14$ /;

σ - przewodność elektryczna właściwa - względnie konduktywność/dla gruntów wilgotnych = 10^{-2} /.

Przy podanych parametrach gruntu wzniesienie pozorne anteny dla

$\lambda = 10m$ wynosi:

$$h_m = \frac{10}{2 \cdot 3,14} \sqrt[4]{\frac{1}{14 + 1/2} + 160 \cdot 10^{-2} \cdot 10/2} = 7 \text{ m}$$

Przy zawieszeniu anten na wysokościach $2 \text{ m} / h_n = h_o = 2 \text{ m} /$

nierówność $h_n \cdot h_o \ll h_m^2$ przyjmie w cyfrach absolutnych wartość:

$$4 \ll 49.$$

$\lambda = 1 \text{ MHz}$ / do 5 m / $\lambda = 60 \text{ MHz}$ /, natomiast większość anten jest zawieszona na wysokości ok. 2 m/np. anteny prętowe radiostacji R-107 przenoszonej przez żołnierza, R-123 zamontowanej w czołgu lub w bojowym wozie piechoty, R-118 samochodowej itp./ . Oznacza to, że w woj- skach szeroko stosowana jest łączność na falach powierzchniowych.

Zasięg łączności radiowej organizowanej za pomocą fal powierz- chniowych jest ograniczony dwoma czynnikami:

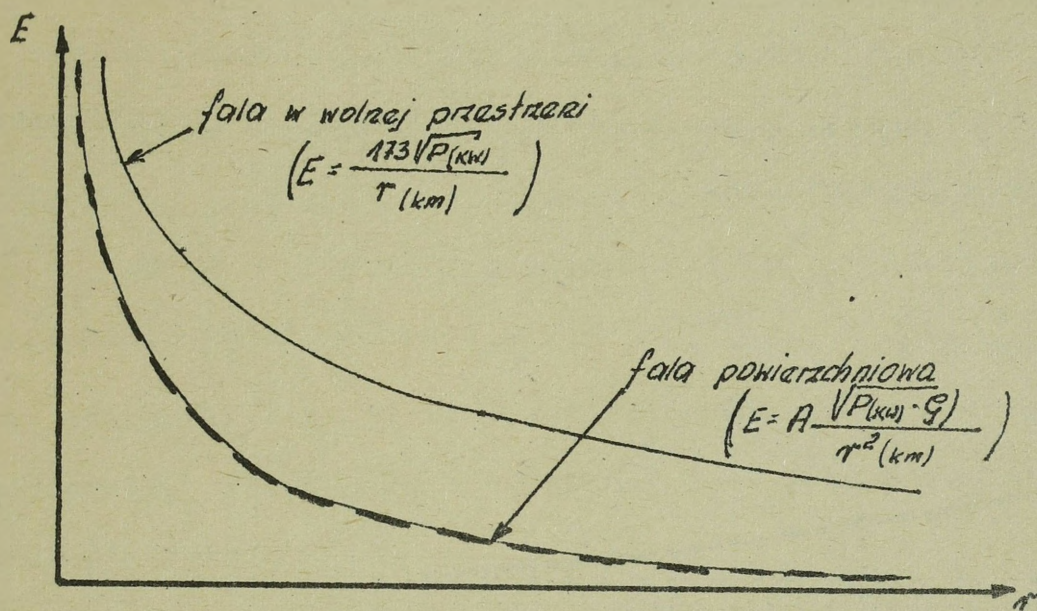
- pochłanianiem energii fali przez ziemię/prądy ciepłe/;
- kulistością ziemi.

Pole elektromagnetyczne fali powierzchniowej rozprzestrze- nia się zarówno w troposferze nad ziemią, jak i pod jej powierzchnią /na nieznacznych głębokościach/. Ponieważ ziemia jest półprzewodni- kiem, pole elektromagnetyczne powoduje powstawanie w niej prądów, wydzielających na oporności rzeczywistej ziemi pewną ilość mocy, która jest pobierana z fali powierzchniowej. Ubytek mocy fali powie- rzchniowej na prądy ciepłe w ziemi powoduje jej tłumienie, które nie występowało w wolnej przestrzeni. Uwzględniając, że wzory na obliczenie natężenia pola elektrycznego fali powierzchniowej są wysoce złożone, można w dużym przybliżeniu określić, że natężenie pola elektrycznego fali powierzchniowej zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości tj.:

$$E = A \frac{P / \text{Kw} / G}{r^2 / \text{km} /}$$

gdzie:

- A - współczynnik uwzględniający faktyczną tłumienność trasy;
- G - zysk anteny nadawczej.



Rys.5. Zmiana natężenia pola elektrycznego fali w wolnej przestrzeni i powierzchniowej, w rzeczywistym środowisku.

Uwzględniając kulisty kształt ziemi, tłumienie pola fali powierzchniowej dodatkowo wzrasta poza horyzontem radiowym. Horyzont radiowy jest znacznie większy od geometrycznego dzięki właściwościom dyfrakcyjnym fal radiowych /właściwość fal pokonywania nierówności terenowych i kulistości ziemi/. Właściwości dyfrakcyjne fal radiowych są większe na niższych częstotliwościach i mniejsze na wyższych częstotliwościach.

Ziemię jako powierzchnię płaską można traktować na trasach o długościach:

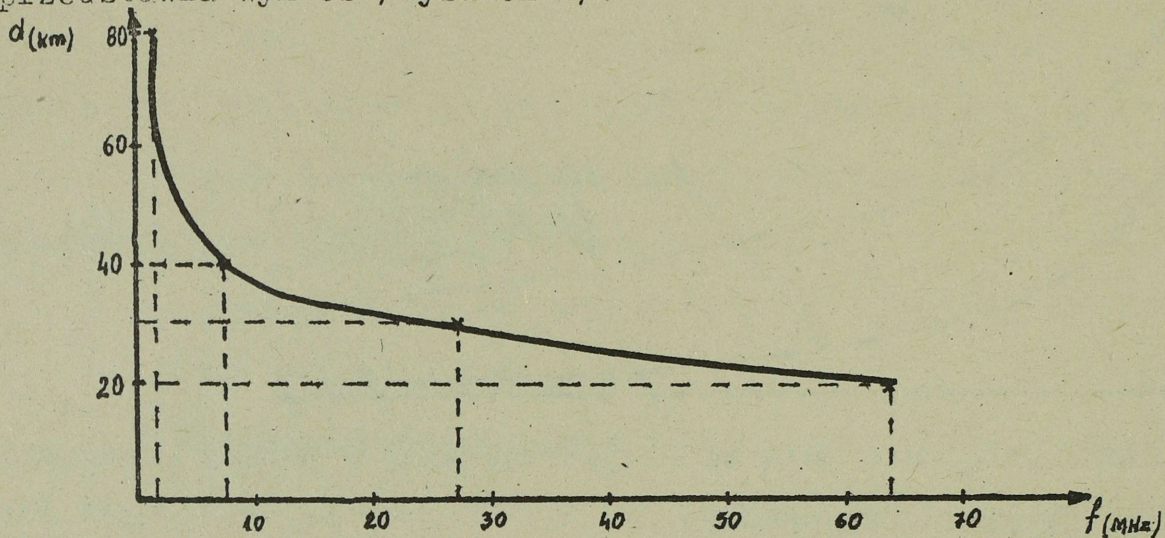
$$d / \text{km} / = \frac{80}{\sqrt[3]{f / \text{MHz} /}}$$

$f / \text{MHz} /$	1	8	27	64
$\lambda / \text{m} /$	300	37,5	ok. 11,11	ok. 4,7
$d / \text{km} /$	80	40	26,6	20

Horyzont geometryczny przy wysokościach zawieszania anten $h_n = h_o = 2 \text{ m}$ wynosi: $d / \text{km} / = 3,57 / \sqrt{h_n} + \sqrt{h_o} / \approx 2,9 \text{ km}.$

Tabela 1. Wielkość horyzontu radiowego w funkcji częstotliwości.

Wielkość horyzontu radiowego /odległości traktowania ziemi jako powierzchni płaskiej, a nie kulistej/ w funkcji częstotliwości przedstawia wykres /rysunek 6/.



Rys.6. Długość horyzontu radiowego w funkcji częstotliwości.

Ze względu na znaczne tłumienie natężenia pola fali powierzchniowej, zwłaszcza poza horyzontem radiowym, zasięg łączności radiowej przy wykorzystaniu omawianego sposobu propagacji jest relatywnie nieduży i może wynosić:

- w zakresie fal krótkich do 80 km /np. zasięg radiostacji R-118 BMZ na postoju wynosi 60-100 km, a w ruchu do 30km/;
- w zakresie fal ultrakrótkich do około 30 km /np. zasięg radiostacji R-123 z anteną prętową wynosi 20 km/.

Należy podkreślić, że podane wyżej zasięgi uzyskiwane są na najniższych częstotliwościach radiostacji. Na przykład w odniesieniu do radiostacji R-118 BMZ zaleca się do pracy falą powierzchniową wykorzystanie pasma 1 ÷ 3 MHz.

2. Fala przestrzenna

Fala przestrzenna występuje wówczas, gdy wysokość zawieszenia anten jest znacznie większa od długości wykorzystywanych fal $h_{\text{ant}} \gg \lambda$ / oraz gdy odległości między utrzymującymi łączność śródkami wynosi około: $d_{\text{/km/}} = 4 / \sqrt{h_m/m} + \sqrt{h_o/m}$.

We wzorze h_m i h_o są to wysokości zawieszenia anteny nadawczej oraz odbiorczej. Ten typ fali stosowany jest przede wszystkim w łączności radioliniowej.

Na przykład w wypadku wykorzystania stacji radioliniowej R-405Z w zakresie metrowym wysokość zawieszenia anten wynosi 14,5m, a maksymalna długość fali może wynosić 5 m. Kryterium oceny propagacji przestrzennej określa się precyzyjnie ze wzoru:

$$h_r \cdot h_o \gg h_m^2 \quad x/$$

Biorąc pod uwagę, że w niniejszym opracowaniu rozpatrywana jest problematyka łączności radiowej, zagadnienie propagacji fal przestrzennych wykorzystywanych w łączności radioliniowej nie jest omawiane.

x/ Obliczenie kryterium $h_N \cdot h_o \gg h_m^2$ w odniesieniu do łączności radioliniowej zorganizowanej za pomocą stacji R-405Z w zakresie metrowym:

$$h_m \cdot h_o = 14,5^2 \approx 210$$

$$h_m \approx \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt[4]{\epsilon + 1/2 + 160\lambda^2 / 2} = \frac{5}{2\pi} \sqrt[4]{14 + 1/2 + 160 \cdot 5^2}$$

$$h_m^2 \approx 10$$

W cyfrach absolutnych obliczona nierówność wynosi:

$$210 \gg 10.$$

3. Fala typu ogólnego

Fala typu ogólnego jest rodzajem fali przyziemnej, posiadającej określone właściwości fali powierzchniowej oraz przestrzennej. Właściwości fali typu ogólnego można oszacować według następujących cech:

- kryterium rozróżnienia;
- zależności parametrów propagacji od parametrów elektrycznych gruntu;
- zależności parametrów propagacji od rzeczywistych wysokości zawieszenia anten;
- wartości natężenia pola elektrycznego.

Cechy podstawowe	Rodzaje propagacji przyziemnej		
	powierzchniowa	typu ogólnego	przestrzenna
Kryterium rozróżniania	$h_m \cdot h_0 \ll h_m^2$	$h_m \cdot h_0 \approx h_m^2$	$h_m \cdot h_0 \gg h_m^2$
Przybliżone kryterium rozróżniania	$h_{ant} \ll \lambda$	$h_{ant} \approx \lambda$	$h_{ant} \gg \lambda$
Zależność parametrów propagacji od parametrów elektrycznych gruntu	istnieje	istnieje	nie istnieje
Zależność parametrów propagacji od wysokości zawieszenia anten	nie istnieje	istnieje	istnieje
Wartość natężenia pola elektrycznego $E / \frac{V}{m} /$	$69 \sqrt{\frac{P \cdot G}{N \cdot N}} \frac{h_m^2}{\lambda d^2}$	$69 \sqrt{\frac{P \cdot G}{N \cdot N}} \frac{h_1 \cdot h_2}{\lambda d^2}$	$69 \sqrt{\frac{P \cdot G}{N \cdot N}} \frac{h_m \cdot h_0}{\lambda d^2}$
Odległość /km/ wyznaczająca granicę stosowalności wzorów na natężenie pola elektr.	$10 \sqrt[3]{\lambda}$	$4 / \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} /$	$4 / \sqrt{h_m} + \sqrt{h_0} /$
	Poza wyznaczoną odległością tłumienie pola znacząco nie wzrasta		

gdzie:

- h_m i h_o - wysokość zawieszenia anten nadawczej i odbiorczej /m/;
- h_m - wzniesienie pozorne anteny /m/
/sposób obliczenia h_m został podany wcześniej/;
- λ - długość fali /m/;
- h_{ant} - wysokość zawieszenia anten nadawczej i odbiorczej /m/;
- $h_1 = \sqrt{h_o^2 + h_m^2}$ - wzniesienie skorygowane anteny nadawczej /m/;
- $h_2 = \sqrt{h_o^2 + h_m^2}$ - wzniesienie skorygowane anteny odbiorczej /m/;
- δ - odległość między antenami, tj. długość trasy łączności /km/;
- G_N - zysk energetyczny anteny nadawczej;
- P_N - moc przekazana z nadajnika do anteny nadawczej /W/.

Fale typu ogólnego są coraz powszechniej wykorzystywane w radiowej łączności ultrakrótkofalowej. Ich zastosowanie stało się możliwe w wyniku wprowadzenia masztów antenowych o wysokości około 10 m, np. w wozie dowożenia R-3Z do pracy na postoju za pomocą R-111, w radiostacji R-137 do zawieszenia anteny objętościowej. Dzięki podniesieniu anten i wykorzystaniu fal typu ogólnego zasięg radiowej łączności ultrakrótkofalowej na postoju wzrósł 2 ÷ 3 krotnie.

4. Fala jonosferyczna

Fale wypromieniowane przez anteny pionowego promieniowania /np. typu AFP, dipol symetryczny, typu V, rombowa itp./ w kierunku do jonosfery zakłamują się w niej i wracają na ziemię, umożliwiając zapewnienie łączności między radiostacjami naziemnymi. Do pracy za pomocą fal jonosferycznych należy wyznaczać częstotliwości ze ściśle ograniczonego zakresu, limitowanego "od dołu" najniższą częstotliwością użytkową zwaną LUF^x oraz "z góry" maksymalną częstotliwością pracy zwaną MUF^{xx}.

Tłumienie pola fali jonosferycznej, zwane także absorbcją, w odróżnieniu od tłumienia pola fali przyziemnej /tj. powierzchniowej, typu ogólnego i przestrzennej/ jest tym większe im niższa częstotliwość /dłuższa fala/ jest wykorzystywana do zapewnienia łączności. Oznacza to, że kryterium ograniczenia od dołu wykorzystywanego do pracy za pomocą fali jonosferycznej zakresu częstotliwości jest wzrastające tłumienie /absorbcja/ pola fali w miarę obniżenia częstotliwości pracy /zwiększania długości fali roboczej/.

Najniższą częstotliwością użytkową /LUF/ jest taka częstotliwość pracy za pomocą fali jonosferycznej, przy zastosowaniu której na wejściu odbiornika natężenie sygnału będzie jeszcze odpowiadało wymaganej czułości odbiornika. W zależności od mocy nadajnika najniższe częstotliwości użytkowe będą różne, tj. tym niższe im większymi mocami dysponują radiostacje.^{xxx/}

x/ LUF - skrót nazwy angielskiej LOWEST USABLE FREQUENCY.

xx/ MUF - skrót nazwy angielskiej MAXIMUM USABLE FREQUENCY.

xxx/ przy założeniu, że czułości odbiorników i wymagane stosunki sygnału do szumu są zbliżone lub identyczne.

$$LUF_{R-140} < LUF_{R-118} < LUF_{R-130}$$

Również dla różnych emisji najniższe częstotliwości użytkowe będą się różnić /np. w odniesieniu do emisji radiostacji R-140/:

$$LUF_{A1} < LUF_{A3J} < LUF_{A3H}$$

Czynnikiem ograniczającym z góry zakres częstotliwości wykorzystywanym do pracy falą jonosferyczną jest inne zjawisko. Od jonosfery odbijają się fale o określonych tylko częstotliwościach, natomiast o wyższych częstotliwościach przenikają jonosferę i za ich pomocą nie można zapewnić łączności między obiektami naziemnymi.

Maksymalną częstotliwością pracy /MUF/ jest taka częstotliwość krytyczna do pracy falą jonosferyczną, przy zastosowaniu której nastąpi jeszcze załamanie fali w jonosferze i jej powrót na ziemi do określonego punktu. W zależności od długości trasy różnić się będą maksymalne częstotliwości pracy /MUF/, a mianowicie:

$$MUF_{d=100 \text{ km}} < MUF_{d=500 \text{ km}} < MUF_{d=2000 \text{ km}}$$

Wartości najniższych częstotliwości użytkowych /LUF/ i maksymalnych częstotliwości pracy /MUF/ nie są stałe i zmieniają w zależności od długości tras radiowych i od stopnia jonizacji jonosfery /tj. występującej w jonosferze gęstości elektronowej w danym momencie czasu i punkcie odbicia fali - ilość elektronów w jednostce objętości - $\frac{e}{m}$ /. W jonosferze występują trzy obszary jonosferyczne: D^{x/}, E i F.

x/ obszar zjonizowany D występuje tylko w dzień na wysokości około 80 km. Wpływa na rozprzestrzenienie się fal długich i średnich.

Na rozprzestrzenianie się fal krótkich wpływają przede wszystkim obszary D i F.

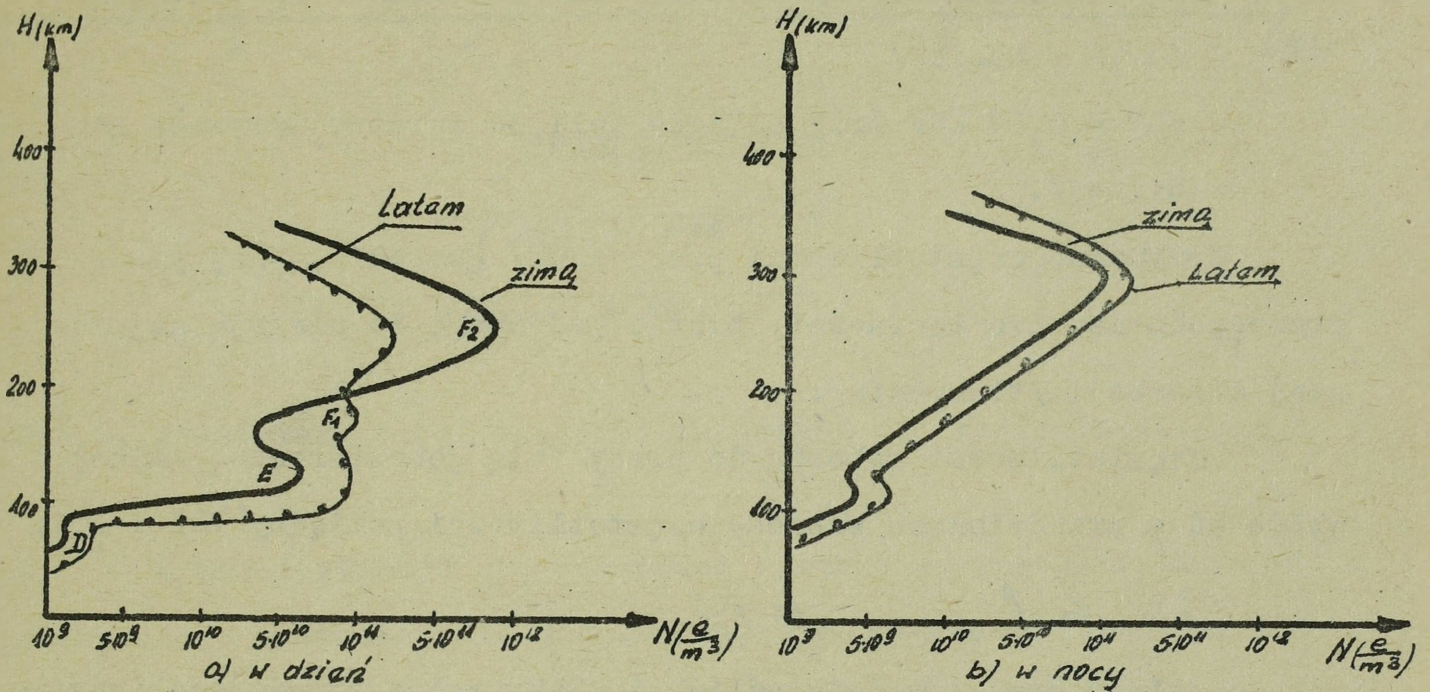
Obszar E obejmuje warstwę E występującą stale na wysokości ponad 100 km oraz warstwę sporadyczną E_s , utrzymującą się zazwyczaj kilka godzin nad warstwą E^x .

Obszar F obejmuje dwie warstwy: F_1 - pojawiającą się na ogół w lecie i tylko w dzień na wysokości około 160 km i warstwę F_2 - utrzymującą się stale na wysokościach w dzień 210 - 260 km i w nocy około 320 km. Decydujący wpływ na propagację fal krótkich wywiera warstwa F_2 i na niższych częstotliwościach w dzień warstwy E i E_s , natomiast warstwa F_1 odgrywa drugoplanową rolę.

Zmienność gęstości elektronowej warstw podstawowych jest następująca:

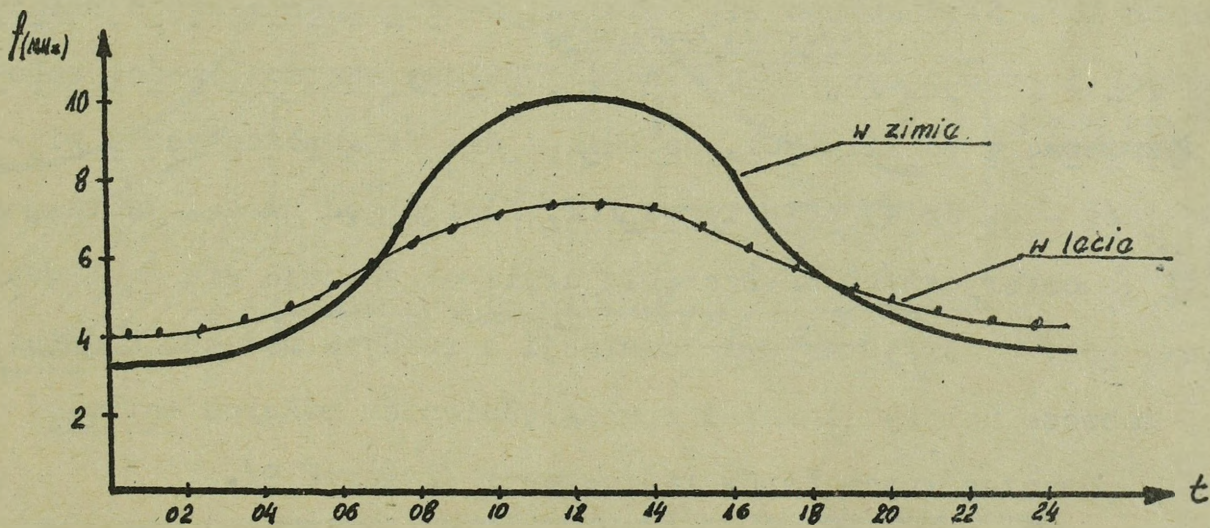
- warstwa E posiada wyższą gęstość elektronową w dzień i w lecie oraz niższą w nocy i w zimie. Warstwa E charakteryzuje się dużą regularnością gęstości elektronowej i nie ulega dużym fluktuacjom;
- warstwa F_2 posiada najwyższą gęstość elektronową w dzień zimowy oraz najniższą w noc zimową. Warstwa F_2 ulega znacznym fluktuacjom.

x/ Może pojawiać się również warstwa E_2 .



Rys.7. Rozkład gęstości elektronowej zimą i latem.

Maksymalne częstotliwości pracy /MUF/ będą zmieniać się w ciągu doby stosownie do występującej gęstości elektronowej jonosfery /rysunek 8/.



Rys.8. Wartości MUF latem i zimą dla trasy łączności o długości 200 km w ciągu doby.

Ponieważ maksymalne częstotliwości pracy nie gwarantują stabilnej łączności /gęstość jonizacji ulega fluktuacjom/ stosuje się jako optymalną częstotliwość pracy /FOF^x/ nieco niższą od MUF:

x/FOF - skrót nazwy francuskiej FREQUENCE OPTIMUM de TRAFFIC.

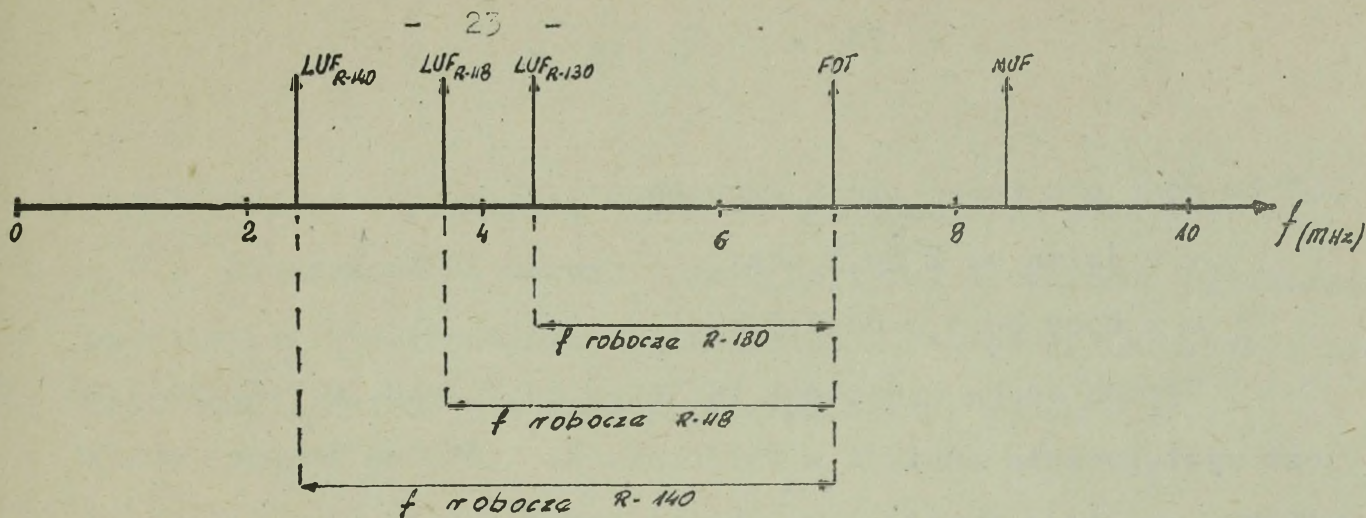
- FOT = 0,85 MUF przy odbiciu fali od warstwy F_2 /ulegającej dużym wahaniom/;
- FOT = 0,97 MUF przy odbiciu fali od warstwy E/wysokiej stabilnej/.

Optymalne częstotliwości pracy /FOT/ gwarantują najwyższe prawdopodobieństwo łączności, biorąc pod uwagę że ulegają najniższej absorpcji /tłumieniu/.

Częstotliwości robocze do pracy falą jonosferyczną należy wybierać w przedziałach zakresu częstotliwości pomiędzy LUF i FOT:

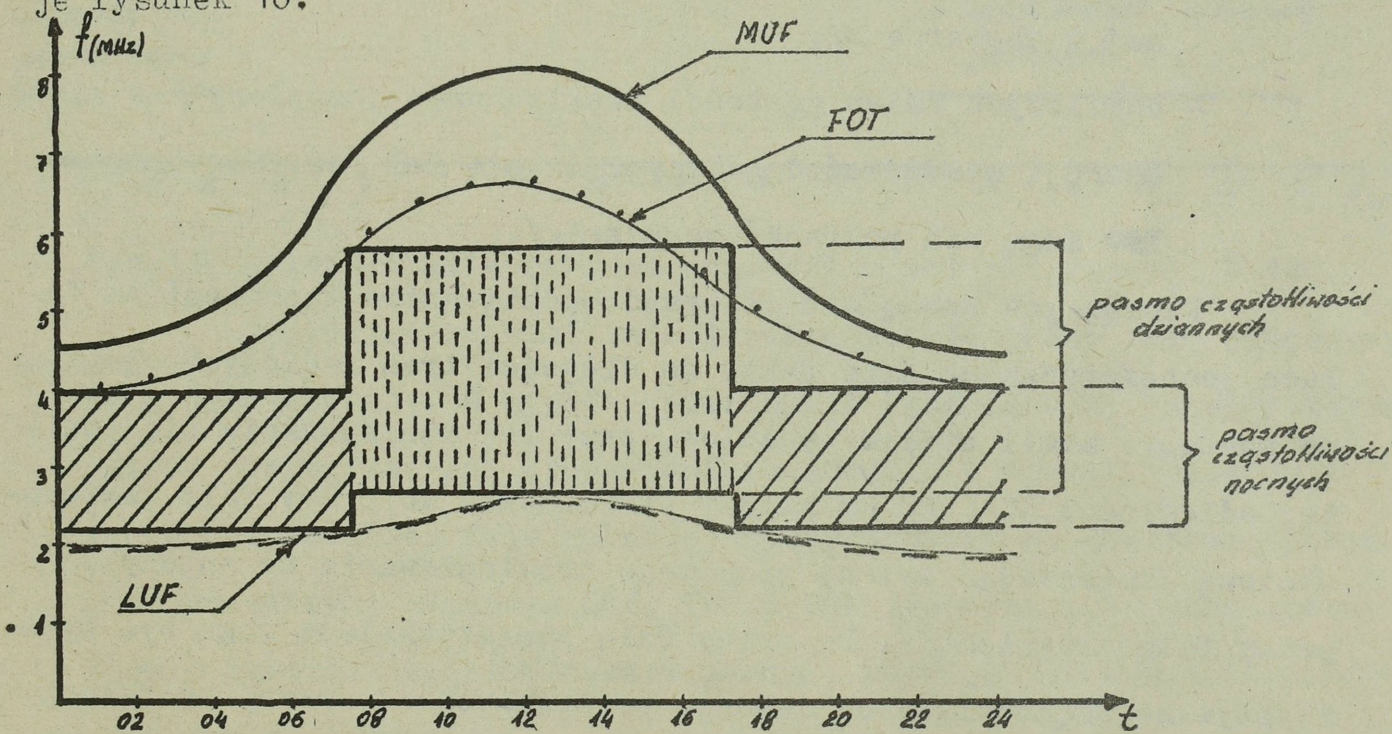
$$LUF \leq f_{\text{robocza}} \leq FOT$$

Należy przy tym podkreślić, że maksymalne prawdopodobieństwo łączności uzyskuje się na częstotliwościach równych lub bliskich FOT, natomiast ze względu na wyższą absorpcję pola fali znacznie niższe prawdopodobieństwo łączności występuje na częstotliwościach bliskich LUF. Stąd nasuwa się wniosek, że dla podstawowych relacji radiowych i pracujących małej mocy należy częstotliwości robocze wyznaczać w pobliżu FOT, natomiast dla drugoplanowych i większej mocy - bardziej odległe od FOT. Biorąc pod uwagę, że za pomocą fal jonosferycznych na szczeblu armii organizuje się łączność radiową przy wykorzystaniu radiostacji o różnych mocach, częstotliwości robocze należy planować z uwzględnieniem różnych wartości LUF dla poszczególnych typów radiostacji /rysunek 9/.



Rys.9. Przedziały częstotliwości roboczych dla radiostacji różnych mocy.

W armii stosuje się łączności radiowe za pomocą fali jono-sferycznej na trasach nie przekraczających odległości 200 km. Dla trasy o podanej długości zmiany LUF, FOT i MUF w ciągu doby ilustruje rysunek 10.



Rys.10. Dobbowe zmiany częstotliwości roboczych /zakreskowane obszary wyznaczają odpowiednio dzienne i nocne częstotliwości do pracy falą jono-sferyczną/.

Szerokość pasm częstotliwości w dzień i w nocy jest stosunkowo niewielka. Dla tras łączności nie przewyższających odległości

200 km mogą one wahać się w granicach:

- w dzień od 2 do 3 MHz;
- w nocy od 1,5 do 2,5 MHz.

Ujemną cechą łączności radiowej na falach jonosferycznych jest występowanie zaników w odbiorze. Na krótkich trasach zaniki odbioru powstają przede wszystkim z powodu:

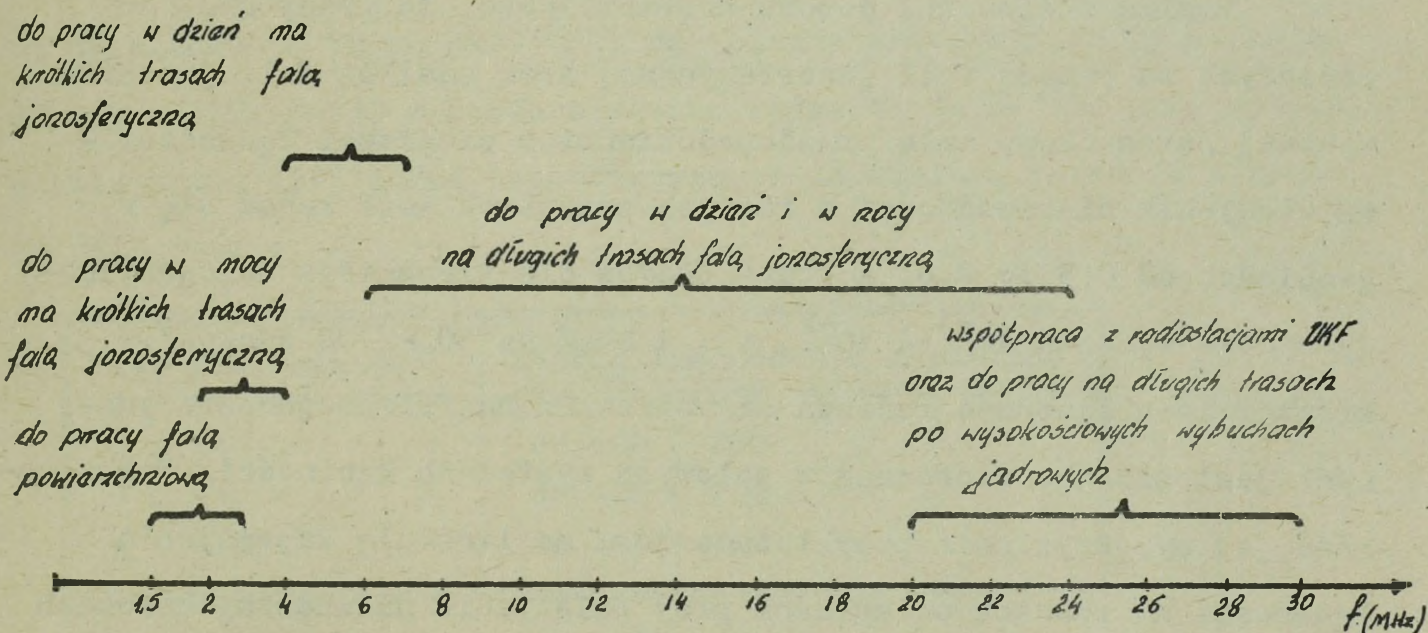
- interferencji fal docierających do punktu odbioru różnymi trasami /np. nakładanie się fal odbitych w obszarze E i F/;
- zmian natężenia sygnału z powodu niezgodności polaryzacji fali jonosferycznej /eliptyczna/ z polaryzacją anteny odbiorczej /pozioma/, a także niestałości absorpcji fali w jonosferze /np. z tytułu wzrostu absorpcji fali jonosferycznej w obszarze E/;
- chwilowych zmian gęstości elektronowej jonosfery i w konsekwencji właściwości załamywania się fal /np. fale ~~bliskie~~ ~~nie~~ mogą nie powracać na ziemię/.

Biorąc pod uwagę niskie prawdopodobieństwo łączności na falach jonosferycznych oraz fakt, że długości tras radiowych ulegają na szczeblu armii stałym wahaniom, przy ich zmniejszaniu się poniżej odległości 50 - 60 km należy przechodzić do pracy falą powierzchniową /zmieniając anteny pionowego promieniowania na anteny do pracy falą przyziemną/. Do pracy falą powierzchniową mogą być wykorzystywane częstotliwości robocze przeznaczone do pracy na falach jonosferycznych w nocy /tj. stosunkowo niskie częstotliwości/.

Zasadniczym zmianom ulegają właściwości jonosfery po wykonaniu wysokościowych wybuchów jądrowych. Jonosfera ulega znacznej deformacji, w wyniku której łączność na falach jonosferycznych zostaje przerwana na okres od kilkunastu do kilkadziesiątu godzin. Natomiast wzrastają właściwości rozproszenia fal w paśmie 20-30MHz,

umożliwiające zapewnienie łączności na znacznych odległościach.

Przedstawione warunki propagacji fal w zakresie krótkofalowym umożliwiają wykorzystanie częstotliwości radiowych/na przykładzie radiostacji R-140/ w sposób przedstawiony na rysunku 11.



Rys.11. Wykorzystanie zakresu częstotliwości radiostacji R-140.

Przydział częstotliwości roboczych do pracy falą jonosferyczną jest złożony. W wypadku planowania łączności na odległy termin należy posługiwać się prognozami radiowymi. W toku eksploatacji łączności radiowej fale robocze należy ustalać na podstawie pomiarów jonosfery i obliczeń MUF, FOT i LUF wykonywanych przez aparatownie kontroli częstotliwości /AKCz/, rozwijanych w ramach armijnych węzłów łączności.

Przydział fal dla armijnych relacji radiowych z wyprzedzeniem rocznym można dokonywać na podstawie prognoz rocznych publikowanych przez "Instytut Magnetyzmu Ziemi, Jonosfery i Rozchodzenia się Fal ZSRR"- IZMIRAN. Wymienione prognozy są zalecane do wykorzystania w ramach Zjednoczonych Sił Zbrojnych.

Instytut IZMIRAN opracowuje również miesięczne prognozy. Obie prognozy radiowe publikowane przez IZMIRAN obejmują całą kulę ziemską.^{x/}

W Wojsku Polskim są stosowane również "Miesięczne Prognozy Radiowe dla Rejonu Polski" opracowywane przez "Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk". Są one rozprowadzane do wojsk wraz z instrukcją posługiwania się nimi przez Szefostwo Wojsk Łączności MON.

Pomimo złożoności doboru częstotliwości do pracy środków radiowych za pomocą fali jonosferycznej oraz zaników fali jonosferycznej /stosunkowo małe prawdopodobieństwo ciągłości łączności - współczynnik niezawodności w różnych warunkach może wahać się w granicach od 0,3 do 0,6, a stopa błędów dla transmisji telegraficznych może wynosić $10^{-1} \div 10^{-2}$, tj. 1 błąd na 10 - 100 znaków/, krótkofalowa łączność radiowa organizowana na falach jonosferycznych jest szeroko stosowana w polowych systemach łączności. Powszechność jej wykorzystania podyktowana jest możliwością zapewnienia łączności na znaczne odległości przy relatywnie nieznacznych mocach nadajników i małych gabarytach urządzeń antenowych. Na postojach przy wykorzystaniu odpowiednich anten /np. typu V, symetryczny wibrator, rombowa/ i odpowiednim wyborze częstotliwości roboczych /w pobliżu /FOT/ można uzyskać następujące zasięgi za pomocą różnych typów radiostacji krótkofalowych:

Typ radiostacji	Zasięg łączności /w km/	
	Fonem	Telegrafem
R-130	200 - 300	350
R-118		800
R-102		1000
R-140	1000 - 1500	2000
R-110	2000	3000

x/ Sposób posługiwania się prognozami radiowymi opracowanymi przez IZMIRAN opisane są w książce : Propagacja fal radiowych - W. LISICKI - Wydawnictwa Komunikacji i Łączności-1962r.w rozdz.8.4.

Atrakcyjność krótkofalowej łączności radiowej na falach jonosferycznych wzrosła w ostatnich latach z powodu wdrożenia anten pionowego promieniowania /APP/ przeznaczonych do pracy w ruchu na znaczne odległości. Dzięki temu udoskonaleniu został rozwiązany problem zapewnienia łączności na wymagane odległości w ruchu. O ile za pomocą radiostacji starszej generacji można było zapewnić w ruchu łączność na odległość do 30 km /R-118KMZ na antenie prętowej/, o tyle radiostacje R-130, R-140 i zmodernizowana radiostacja R-118K przy wykorzystaniu anten „APP” i fal jonosferycznych zapewniają łączność w ruchu na odległości:

Typ radiostacji	Zasięg łączności w ruchu/km/
R - 130	do 100 ÷ 200
R - 118 K	do 100 ÷ 200
R - 140	do 200 ÷ 300

Nową cechą współczesnych radiostacji jest również zwiększenie ich sprawności w zakresie przełączania częstotliwości pracy. Zastosowanie na przykład w radiostacji R-140 układów umożliwiających z góry przygotowanie 10 częstotliwości pracy /układy ZPCz/ i przełączanie ich w ciągu około 30 sekund zapewnia większą efektywność łączności radiowej na falach jonosferycznych, ponieważ umożliwia szybkie przestrajanie radiostacji na fale robocze bliskie FOT o najniższej absorpcji oraz skali zaników itp.

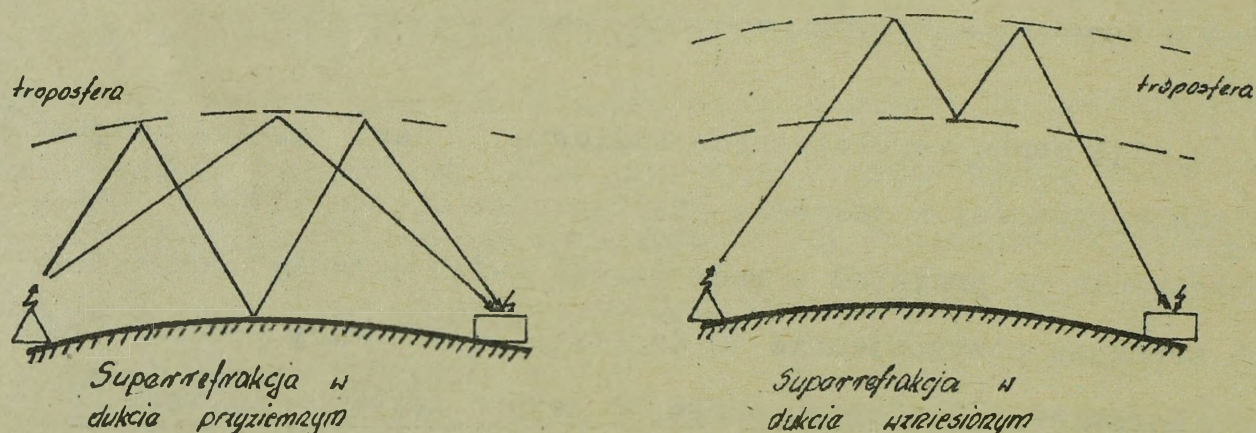
5. Fala troposferyczna

Na falach ultrakrótkich można uzyskać łączność na odległościach przekraczających horyzont radiowy $d_{/km/} = \frac{80}{\sqrt{f/MHz}}$ w wyniku refrakcji fal w troposferze.

Pozahoryzontowa propagacja troposferyczna może odbywać się przez superrefrakcję oraz rozproszenie troposferyczne.

Współczynnik refrakcji /zakamiania się/ fal w troposferze zależy od rozkładu temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza w funkcji wysokości.

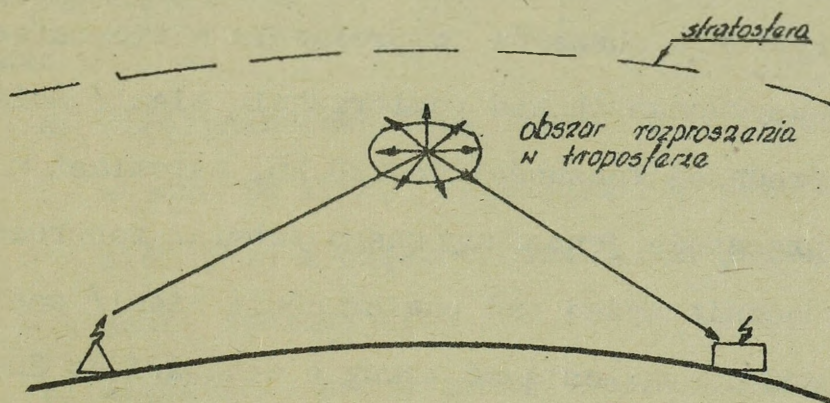
Superrefrakcja polega na wielokrotnym zakamianiu się fali w ramach sporadycznie powstających w troposferze duktów przyziemnych i wzniesionych /rysunek 12/.



Rys. 12. Model propagacji pozahoryzontalnych fal ultrakrótkich w wyniku superrefrakcji.

Drugim, a zarazem podstawowym rodzajem pozahoryzontalnej propagacji fal ultrakrótkich jest wykorzystanie fali rozproszonej w troposferze. Zjawisko stałego rozproszenia fali występuje w wyniku fluktuacji współczynnika refrakcji /zakamiania/ fali w poszczególnych obszarach troposfery /zwanych obszarami rozproszenia, w których

występuje zjawisko zmian ciśnienia, temperatury i wilgotności powietrza/. Dzięki zjawisku rozproszenia fali w obszarach rozproszenia, występujących w troposferze na różnych wysokościach /do 15 km nad powierzchnią ziemi/, można zapewnić łączność na znaczne odległości przy wykorzystaniu środków o dużych mocach i zyskach urządzeń antenowych. Duża moc wypromieniowana przez nadajnik i zysk anten nadawczych i odbiorczych są niezbędne, aby nieznaczny procent energii elektromagnetycznej rozproszonej w kierunku do odbiornika zapewnił na jego wejściu pożądany poziom sygnału.



Rys.13. Model propagacji troposferycznej fali rozproszonej.

Łączność za pomocą fal rozproszonych w troposferze jest perspektywnym sposobem organizacji łączności. W obrotowych systemach łączności omówiony sposób propagacji fal jest wykorzystywany przede wszystkim do zapewnienia pozahoryzontalnej łączności radioliniowej za pomocą troposferycznych stacji radioliniowych, których wdrożenie do wojsk ma nastąpić w najbliższych latach. Zasięg łączności pomiędzy dwoma troposferycznymi stacjami radioliniowymi /zwanymi także pozahoryzontalnymi/ w zależności od mocy nadajników i zysków anten może wynosić od 120 do 200 km, a w układzie kilku stacji /końcowe i retranslacyjne/ do 600 - 1000 km.

Aktualnie w Wojsku Polskim fale troposferyczne są wykorzy-

-stywane do zapewnienia łączności radiowej za pomocą radiostacji R-137, które umożliwiają uzyskanie zasięgów:

- na postoju do 150 km;
- w ruchu do 70 km.

Wojskowy Instytut Łączności przeprowadził badania zasięgów łączności radiostacji R-137 z wykorzystaniem anten o dużych zyskach od radiostacji R-121 /stosowanych w wojskach CPK/.

Przy wykorzystaniu wymienionych anten i radiostacji R-137 uzyskano zasięgi łączności do 500 km, przy czym rozproszenie fal następowało w niejednorodnej jonosferze.

Przy wykorzystaniu obszarów rozproszenia w troposferze /stosunkowo nisko usytuowanych nad powierzchnią ziemi/ można uzyskać zasięgi bezpośredniej łączności do 200 km, natomiast w wypadku wykorzystania rozproszenia jonosferycznego /obszar rozproszenia usytuowany jest znacznie wyżej nad powierzchnią ziemi/ zasięgi łączności są większe i mogą osiągać trasy o długości do 2000 km.

III. ZASADY WYZNACZANIA CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWYCH Z PUNKTU
WIDZENIA ZAPEWNIENIA KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ.

Rozwój i stosowanie wszelkiego rodzaju cywilnych oraz wojskowych urządzeń radioelektronicznych, emitujących energię elektromagnetyczną, stworzyły bardzo złożony problem unikania wzajemnych zakłóceń. Zagadnienia te wchodzą w zakres gospodarki częstotliwościami radiowymi.

W skali światowej gospodarkę częstotliwościami radiowymi w odniesieniu do cywilnych służb prowadzi Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, zwany w skrócie UIT^{x/}, poprzez swoje organy specjalistyczne:

- a/ Międzynarodową Izbę Rejestracji Częstotliwości, zwaną w skrócie IFRB^{xx/}, zajmującą się bezpośrednio wyznaczaniem pasm i częstotliwości dla poszczególnych rodzajów służb cywilnych;
- b/ Międzynarodowy Doradczy Komitet Radiokomunikacyjny, zwany w skrócie CCIR^{xxx/}, zajmujący się opracowaniem zaleceń z dziedziny propagacji fal, badaniami zakłóceń i ustalaniem norm w tym zakresie oraz normalizacją warunków technicznych na urządzenia radiowe;
- c/ Światowe i Regionalne /np. europejskie/ Administracyjne Konferencje Radiowe, ustalające zalecenia w zakresie najważniejszych zagadnień związanych z wykorzystaniem środków emitujących energię elektromagnetyczną w paśmie częstotliwości radiowych.

x/ Union International des Telecommunications.

xx/ International Frequency Registration Board.

xxx/ Comité Consultatif International des Radiocommunications.

Realizacja postanowień i zaleceń podjętych w ramach działalności UJT, IFRE, CCIR oraz Administracyjnych Konferencji Radiowych zależy od dobrej woli poszczególnych państw, ponieważ nie istnieje czynnik nadrzędny zdolny wymusić podporządkowanie się przyjętym ustaleniom. Jednak w większości przypadków obserwuje się tendencję przestrzegania przyjętych uzgodnień przez poszczególne państwa, co umożliwia optymalizację wykorzystania częstotliwości radiowych w skali świata.

Uzgodnienia dotyczące wykorzystania częstotliwości radiowych w skali państw socjalistycznych są dokonywane w ramach Organizacji Współpracy Łączności /OWŁ/^{x/}

Zgodnie z "Ustawą o Łączności" podjętą przez Radę Państwa w dniu 31 stycznia 1961 r. w naszym państwie nadzór nad gospodarką falową sprawuje Minister Łączności. Jego organem doradczym jest "Rada do spraw Częstotliwości Radiowych", w skład której wchodzi przedstawiciele MON, prezentując w niej potrzeby Sił Zbrojnych PRL.

W ramach Zjednoczonych Sił Zbrojnych gospodarkę częstotliwościami radiowymi prowadzi specjalistyczny organ Sztabu Zjednoczonych Sił Zbrojnych.

W ramach Wojska Polskiego prowadzenie gospodarki częstotliwościami radiowymi Szef Sztabu Generalnego WP powierzył Szefowi Wojsk Łączności MON.

Szefostwa Wojsk Łączności frontu i armii prowadzą gospodarkę falową w zakresie wykorzystania przydzielonych przez szczebel nadrzędny częstotliwości radiowych przeznaczonych do organizacji łączności radiowej i radioliniowej. Nadzór nad wykorzystaniem

x/ Organizacja Sodiejstwija Swiazi /OSS/.

częstotliwości radiowych w toku eksploatacji systemów łączności sprawują również w wyznaczonym zakresie osoby funkcyjne węzłów łączności /przede wszystkim zespołu środków radiowych/ oraz szefowie osi i kierunków radioliniowych.

Podstawowym zadaniem funkcyjnych łączności na szczeblu armii jest taki rozdział i wykorzystanie częstotliwości radiowych, aby uwzględnić:

- właściwości rozchodzenia się fal radiowych w rejonie działań armii;
- zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej wykorzystywanych środków łączności;
- ochronę łączności przed zakłóceniami celowymi nieprzyjaciela.

Spełnienie wymienionych wymagań jest wysoce złożonym zadaniem. W zakresie częstotliwości od 1 do 60 MHz może być wykorzystywanych po obu stronach walczących wojsk frontu i grupy armii rzędu 15 tysięcy i więcej relacji radiowych. Jeżeli przyjąć, że w zależności od rodzaju emisji poszczególne relacje radiowe mogą zajmować pasmo o szerokości od 200 Hz /emisja A_1 / do 10 kHz /emisja F_3 /, tj. średnio pasmo o szerokości 6 kHz, to dla 15 tysięcy relacji radiowych jest niezbędny zakres częstotliwości o szerokości 90MHz, czyli półtora razy szerszy od eksploatowanego. Należy przy tym podkreślić, że przedstawione wyliczenia nie uwzględniają następujących momentów:

- potrzebę wyznaczania dla poszczególnych sieci i kierunków radiowych nie tylko częstotliwości roboczej, lecz również zapasowej w celu zapewnienia ciągłości łączności w warunkach zakłóceń celowych;
- potrzebę posiadania określonej ilości częstotliwości

rezerwowych w celu zapewnienia możliwości dokonywania manewru falami w wypadku ich zajętości przez nieprzyjaciela;

- niedostateczne zagęszczenie siatki częstotliwości roboczych poszczególnych radiostacji, powoduje nieefektywne wykorzystanie zakresu częstotliwości /nawet rzędu 50%/;
- szereg pasm omawianego zakresu jest zajęte przez cywilne służby stałe, ruchome i morskie np. przez radiofonie pasma: 1 ÷ 1,6 MHz, ^{4,10 MHz 75m} ~~4,3 MHz /70m/~~, 6,1 MHz /49m/, 7,3 MHz /41m/, 9,7 MHz /31m/, 12 MHz /25m/, 15,8 MHz /19m/, 18,7 MHz /16m/ i ^{21 MHz} ~~23 MHz /13m/~~ oraz przez telewizję: 48,5-56,5 MHz pierwszy kanał TV i powyżej 58 MHz drugi kanał TV.

Przedstawione uwarunkowania powodują, że ze względu na deficyt częstotliwości radiowych zachodzi potrzeba ich wielokrotnego użycia na polu walki. Stosowanie podanego sposobu wykorzystania częstotliwości radiowych musi być realizowane racjonalnie, tzn. powinno mieć na względzie eliminację wzajemnych zakłóceń.

Rozdział i wykorzystanie częstotliwości radiowych, uwzględniający zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej^{x/}, jest realizowany wówczas, gdy ogranicza się możliwość oddziaływania na urządzenia odbiorcze sygnałów niepożądanych i stwarza się warunki manewru falami w celu ochrony łączności radiowej /radioliniowej/ przed zakłóceniami celowymi.

W takim ujęciu kompatybilny rozdział i wykorzystanie częstotliwości radiowych zapewnia się o ile:

- 1/ Zostanie wygospodarowana niezbędna ilość częstotliwości zapasowych /zagadnienie zostanie naświetlone w następnym rozdziale przede wszystkim w aspekcie ochrony łączności radiowej przed zakłóceniami celowymi/;

x/ zgodność elektromagnetyczna - zapewnienie niezakłóconego odbioru sygnałów.

- 2/ zachowane będą odległości koordynacyjne eliminujące możliwość występowania wzajemnych zakłóceń pomiędzy relacjami radiowymi pracującymi jednocześnie na tych samych częstotliwościach;
- 3/ stosowana będzie koordynacja czasowa, wykluczająca możliwość jednoczesnej pracy relacji radiowych wykorzystujących te same częstotliwości na odległościach mniejszych od odległości koordynacyjnej;
- 4/ zachowane będą odstęp częstotliwościowe pomiędzy częstotliwościami pracy urządzeń radiowych wykorzystywanych w dużym skupieniu na ograniczonej przestrzeni /np. zamontowanych w wozach dowodzenia, rozwijanych na węzłach łączności/, wykluczające zakłócenie pracy poszczególnych odbiorników^{x/} przez sygnały pochodzące od nadajników eksploatowanych w strefie bliskiej.

Reasumując, poprawny rozdział i wykorzystanie częstotliwości radiowych polega na zapewnieniu kompatybilności zewnętrznej łączności radiowej w strefie dalekiej w wyniku przestrzegania odległości koordynacyjnych i koordynacji czasowej oraz kompatybilności wewnętrznej łączności radiowej w strefie bliskiej w wyniku przestrzegania odstępów częstotliwościowych.

1. Sposób oceny odległości koordynacyjnych^{xx/}.

Biorąc pod uwagę, że anteny odbiorcze reagują na sygnały

x/ Ze względu na niedoskonałość układów filtrujących odbiornika, sygnały o innych częstotliwościach pracy pochodzących od nadajników rozwiniętych w pobliżu powodują zakłócenie sygnału użytecznego odbiornika.

xx/ przedstawiona analiza zawiera szereg uproszczeń dokonanych w celu uniknięcia złożonej interpretacji problemu.

użyteczne i zakłócające, warunkiem osiągnięcia kompatybilności łączności radiowej jest zapewnienie odpowiedniego stosunku natężenia elektrycznych sygnałów użytecznego pochodzącego od radiostacji korespondenta i zakłócających, pochodzących od innych radiostacji.

Minimalna wartość stosunku natężeń pól elektrycznych użytecznego i zakłócającego, przy którym zapewnia się poprawną łączność nazywa się współczynnikiem ochronnym:

$$p = \frac{E_u}{E_z}$$

gdzie: p - współczynnik ochrony;

E_u - natężenie pola elektrycznego sygnału użytecznego;

E_z - natężenie pola elektrycznego sygnału zakłócającego;

E_u i E_z - ich wartości ustala się w punkcie odbioru.

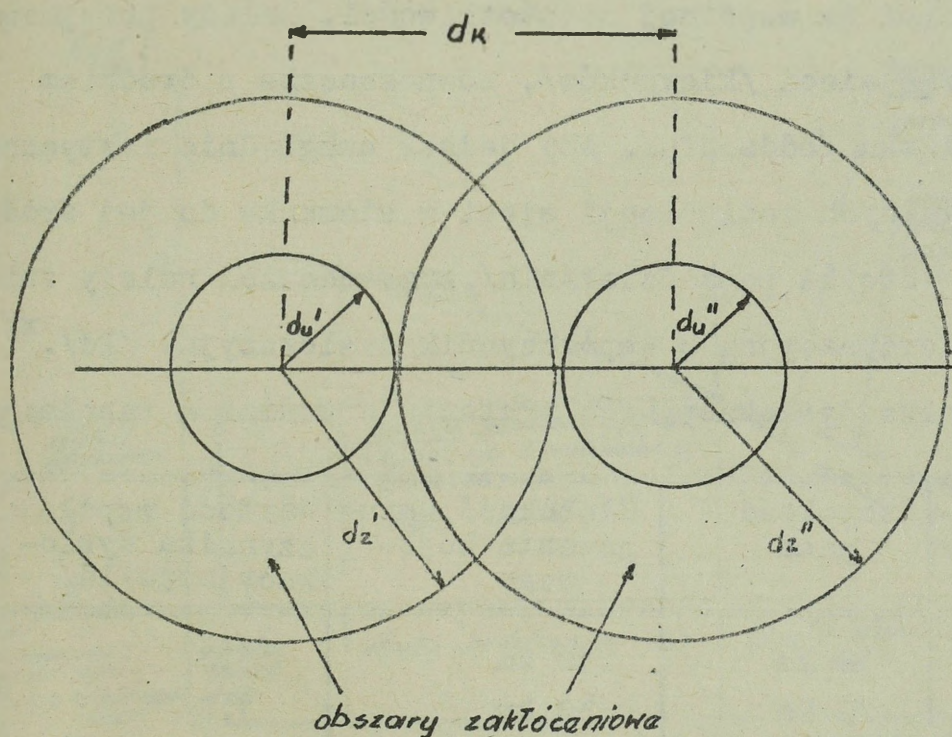
Kompatybilną pracę środków radiowych uzyskuje się o ile w punkcie odbioru wartość współczynnika ochronnego $/p/$ wynosi:

- dla łączności radiotelefonicznej
/typu A_3 , A_3J , F_3 / - $3 \div 5$
- dla łączności radiodalekopisowej
i transmisji danych cyfrowych - $7 \div 10$
- dla łączności radiotelegraficznej
słuchowej - 1,5.

Powyższe kryteria wyjściowe pozwalają ocenić wielkość odległości koordynacyjnych pomiędzy relacjami radiowymi przestrzennie oddalonymi i wykorzystującymi identyczne częstotliwości robocze.

Odległość koordynacyjną jest to najmniejsza dopuszczalna

odległość, przy zachowaniu której funkcjonują bez wzajemnych zakłóceń przestrzennie oddalone relacje radiowe wykorzystujące tę samą częstotliwość roboczą.^{x/} Taka odległość jest zachowana wówczas, obszar użyteczny pierwszej relacji radiowej, jeśli obszar zakłóceńowy drugiej relacji radiowej wzajemnie nie pokrywają się /tylko stykają się/, lub odwrotnie jeśli obszar użyteczny drugiej relacji radiowej i obszar zakłóceńowy pierwszej relacji nie pokrywają się.



- du' - zasięg użyteczny pierwszej relacji radiowej;
- du'' - zasięg użyteczny drugiej relacji radiowej;
- dz' - zasięg zakłóceńowy pierwszej relacji radiowej;
- dz'' - zasięg zakłóceńowy drugiej relacji radiowej;
- dk - odległość koordynacyjna.

Rys.14. Graficzna interpretacja odległości koordynacyjnej.

Z przedstawionego rysunku wynika, że odległość koordynacyjna wynosi:

$$d_k \geq du' + dz'' \quad \text{lub} \quad d_k \geq du'' + dz'$$

Przy różnych mocach radiostacji pracujących w sieciach /kierunkach/

x/ lub zajmujące częściowo to samo pasmo częstotliwości o ile częstotliwości robocze poszczególnych relacji radiowych różnią się nieznacznie.

radiowych odległości koordynacyjne mogą być różne. W tym przypadku łączność bez wzajemnych zakłóceń będzie zapewniona przy wyborze maksymalnej odległości koordynacyjnej.

Wykorzystanie sieci /kierunków/ radiowych w polowych systemach łączności charakteryzuje się okresowymi zmianami rejonów rozmieszczenia poszczególnych korespondentów. Dlatego też, za wyjściowy punkt odniesienia odległości koordynacyjnej pomiędzy relacjami radiowymi pracującymi na wspólnej częstotliwości, należy przyjmować środki geometryczne sieci /kierunków/, równoznaczne z środkiem pasa działania związku /oddziału/. Aby jednak uwzględnić faktyczne położenie poszczególnych radiostacji sieci w stosunku do jej środka geometrycznego /środku pasa działania/, przy ocenach należy zwiększyć odległość koordynacyjną o współczynnik dyslokacyjny $/ld/.^x/$ Wartość współczynnika dyslokacyjnego prezentuje poniższa tabela:

Szczebel wykorzystania sieci/kierunków/radiowych	Szerokość pasa	Głębokość ugrupowania bojowego	Wartość współczynnika dyslokacyjnego/ $ld/$
pułk	10 km	10 km	1,1
dywizja	20 km	30 km	1,2
armia	60-100km	60-100km	1,3 ÷ 1,5

W związku z powyższym odległość koordynacyjną^{a)} należy określać z zależności:

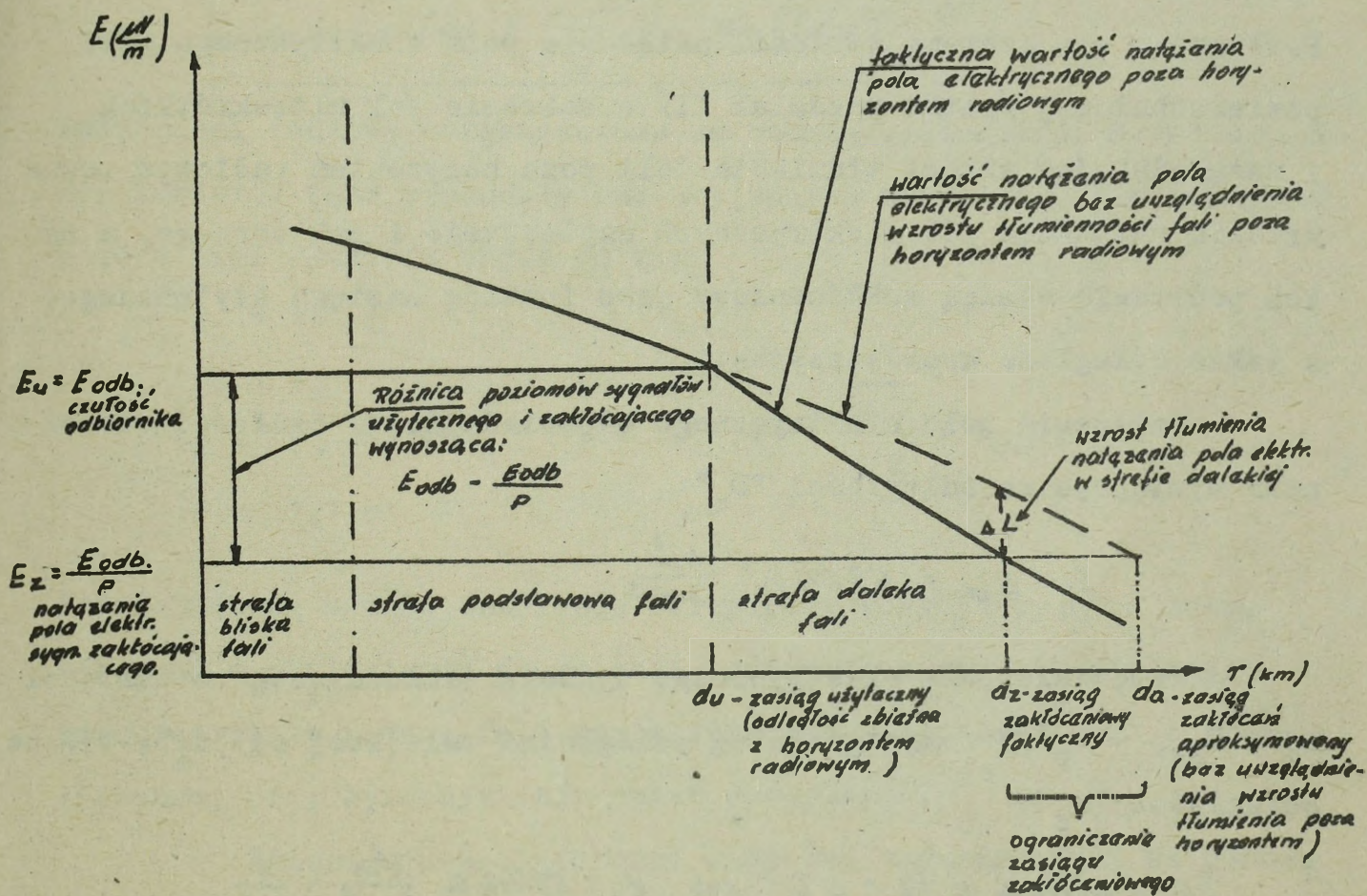
$$d_k = l_d / d_u + d_z /$$

Zasięg użyteczny radiostacji $/d_u /$ jest to odległość od stacji nadawczej do punktu, w którym wartość natężenia pola elektrycznego spada do poziomu odpowiadającego czułości odbiornika. Zasięg użyteczny radiostacji do ocen odległości koordynacyjnych można określać

x/ Za podstawę określenia współczynnika dyslokacyjnego przyjęto organizację łączności w natarciu/oper. zaczepnej/ze względu na najtrudniejsze warunki zapewnienia kompatybilności.

na podstawie danych zawartych w instrukcjach oraz praktyki stosowania środków radiowych w konkretnych warunkach terenowych. Zasięg użyteczny d_u występuje w strefie podstawowej fali /rys.15./

Posługując się wzorami $p = \frac{E_u}{E_z}$ oraz wartości natężenia pola elektrycznego /patrz rozdział II/ można ustalić zasięg zakłóceniowy radiostacji d_z . Zasięg zakłóceniowy d_z występuje w strefie dalekiej fali /Rys.15./.



gdzie: $d_a = W \cdot d_z$

W - współczynnik ograniczenia zasięgu zakłóceń. Jego wartość jest większa od 1.

Rys.15. Graficzna interpretacja określenia zasięgu zakłóceniewego.

x/Zasięg zakłóceniewy d_z jest to odległość od radiostacji do punktu w którym natężenie pola elektrycznego jest mniejsze od czułości odbiornika/zakłócanego/ o wartość współczynnika ochronnego/p/.

Natężenie pól elektrycznych równe czułości odbiornika $E_{\text{odbi}}/E_{\text{odbi}}$ uzyskuje się na odległości " d_u ", natomiast natężenie pola elektrycznego zmniejszone o wartość współczynnika ochronnego $/p/$ w stosunku do czułości odbiornika równe $E_z = \frac{E_{\text{odbi}}}{p}$ występuje na odległości d_z , którą należy ustalić uwzględniając wzrost tłumienia natężenia pola elektrycznego sygnału zakłócającego w strefie dalekiej.

Z rysunku 15 wynika, że tłumienie fali jest nierównomierne: najmniejsze w strefie bliskiej i największe w strefie dalekiej. Posługując się wzorami wartości natężenia pola elektrycznego fali powierzchniowej /patrz rozdział II/ w zakresie fal ultrakrótkich i uwzględniając wzrost tłumienia fali poza horyzontem radiowym można ustalić natężenia pól elektrycznych użytecznego i zakłócanego, a na ich podstawie zasięg zakłóceniuowy jako funkcję zasięgu użytecznego, a także odległość koordynacyjną.

Natężenie pola elektrycznego odpowiadającego czułości odbiornika występuje na odległości " D_u ":

$$E_u = E_{\text{odbi}} = 69 \sqrt{P_N G_N} \frac{h_m^2}{\lambda d_u^2}$$

Natężenie pola elektrycznego sygnału zakłócającego o wartości $E_z = E_{\text{odbi}} - \frac{E_{\text{odbi}}}{p}$ występuje na odległości mniejszej od " d_a ", tj. na odległości " d_z ":

$$E_z = 69 \sqrt{P_N G_N} \frac{h_m^2}{\lambda d_z^2} \cdot \Delta L \quad \text{lub} \quad E_z = 69 \sqrt{P_N G_N} \frac{h_m^2}{\lambda \cdot d_z^2} \cdot \frac{1}{W^2}$$

gdzie: W - współczynnik ograniczenia zasięgu zakłóceń

ΔL lub $\frac{1}{W^2}$ - wzrost tłumienności fali poza horyzontem radiowym.

Podstawiając wartość E_u i E_z do zależności $p = \frac{E_u}{E_z}$ otrzymujemy:

$$p = \frac{69 \sqrt{P_N G_N} \frac{h_m^2}{\lambda d_u^2}}{69 \sqrt{P_N G_N} \frac{h_m^2}{\lambda (W \cdot d_z)^2}}$$

Po uproszczeniu wielkości jednoznacznych i dokonaniu przekształceń, wzór na zasięg zakłóceniuowy jest następujący:

$$d_z = \frac{d_u \cdot \sqrt{P}}{W}$$

W związku z powyższym, odległość koordynacyjną $d_k = ld / d_u + d_z /$ można określić z zależności:

$$d_k = ld \left(d_u + \frac{d_u \sqrt{P}}{W} \right) = d_u \cdot ld \left(1 + \frac{\sqrt{P}}{W} \right)$$

Dwie sieci radiowe zorganizowane za pomocą radiostacji R-123 w terenie lesistym będą pracowały bez wzajemnych zakłóceń o ile odległość między nimi wyniesie około 50 km:

$$d_u = 15 \text{ km}$$

$$ld = 1,1$$

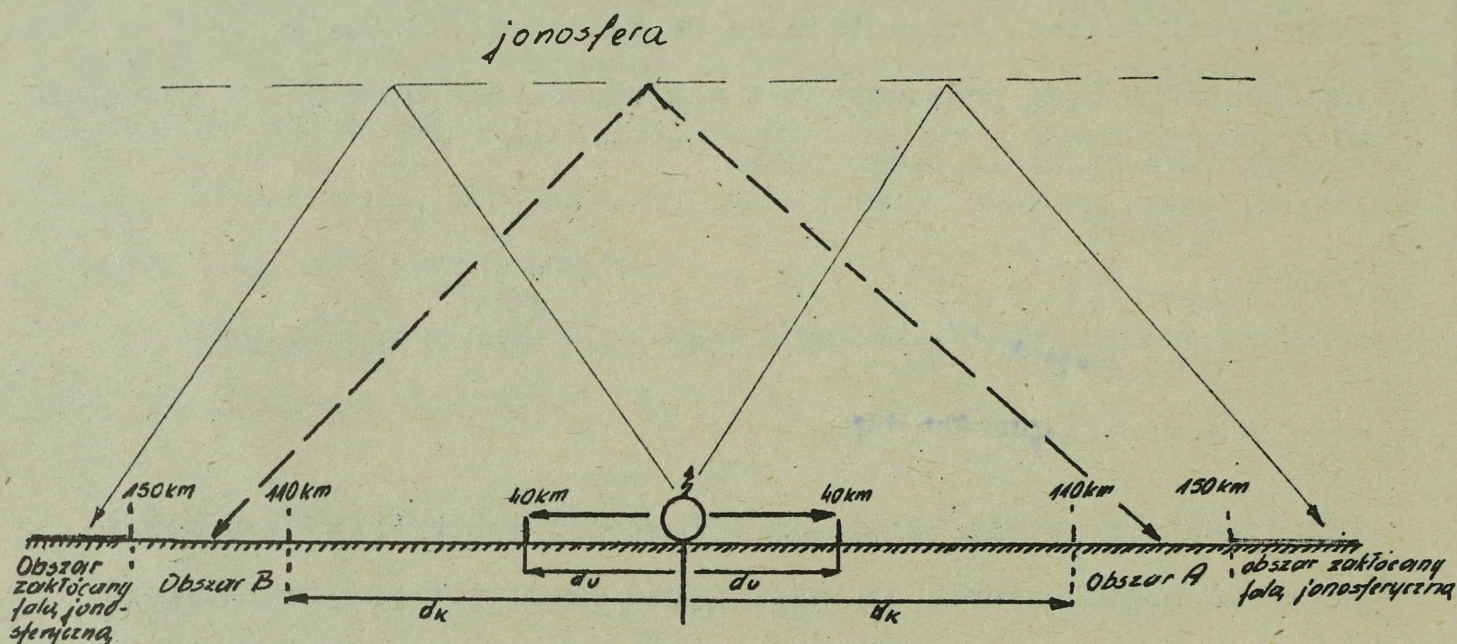
$$p = 4 \quad d_k = 15 \cdot 1,1 / 1 + \frac{\sqrt{4}}{1,1} = 46,2 \text{ km}$$

$$W = 1,1$$

Przedstawioną metodę ustalania odległości koordynacyjnych można stosować w odniesieniu do relacji radiowych ultrakrótkofalowych pracujących za pomocą fali powierzchniowej, typu ogólnego i przestrzennej przy wykorzystaniu anten dookólnych.

W odniesieniu do łączności radiowej organizowanej za pomocą fal krótkich powyższa metoda oceny kompatybilności jest nieprzydatna. Ocenę kompatybilności pracy krótkofalowych relacji radiowych przy stosowaniu fal jonosferycznych należy przeprowadzić poprzez obliczanie stosunków natężeń pól elektrycznych sygnałów użytecznego i zakłócającego, uwzględniając tłumienie fali oraz zysk anten nadawczych i odbiorczych przy faktycznie występujących kątach emisji i odbioru. Przy ocenie kompatybilności krótkofalowych relacji radiowych pracujących przy zastosowaniu fal powierzchniowych, należy

mieć na uwadze występowanie fali jonosferycznej na odległościach powyżej 150 ÷ 200 km o stosunkowo dużym poziomie natężenia pola elektrycznego, pomimo stosowania anten przeznaczonych do emisji i odbioru fali powierzchniowej /anteny z polaryzacją pionową typu prętowa, teleskopowa itp/. Fakt występowania wzajemnych zakłóceń przenoszonych falą jonosferyczną przy pracy falą powierzchniową dyskwalifikuje możliwość przestrzegania odległości koordynacyjnych w ocenach kompatybilności łączności radiowej krótkofalowej. Powyższy problem ilustruje rys. 16.



Rys.16. Model propagacji i kompatybilności łączności radiowej

na radiostacjach R-112 przy wykorzystaniu anteny prętowej

$$/d_u = 40 \text{ km}, d_k = d_u \cdot \text{ld} / 1 + \frac{\sqrt{P}}{W} / = 40 \cdot 1,1 / 1 + \frac{\sqrt{3}}{1,1} = 110 \text{ km} /$$

W obszarach A lub B może być wykorzystana częstotliwość robocza, na której pracuje wykazana na rysunku 16 radiostacja R-112.

Jednak nie można tej samej częstotliwości roboczej wykorzystywać równocześnie w obszarach A i B, ponieważ między nimi występuje odległość ponad 200 km. Na tej odległości relacje pracujące na tych samych częstotliwościach w obszarach A i B wzajemnie

zakłócałyby się falą jonosferyczną.

Przedstawiona analiza wskazuje, że częstotliwości robocze zakresu krótkofalowego mogą być powtórnie wykorzystane wyłącznie na znacznych odległościach, tj. w skali teatru działań wojennych na rozchodzących się kierunkach strategicznych lub operacyjnych. W związku z tym, w odniesieniu do relacji radiowych organizowanych za pomocą radiostacji ^{KF}średniej i dużej mocy celowe jest stosowanie koordynacji czasowej wykorzystania częstotliwości radiowych.

2. Zasady stosowania koordynacji czasowej wykorzystania częstotliwości radiowych.

Koordynację czasową wykorzystania częstotliwości radiowych należy stosować w tych przypadkach, w których odległości między relacjami radiowymi wykorzystującymi identyczne częstotliwości robocze lub pasma częstotliwości są mniejsze od wartości odległości koordynacyjnych. Koordynacja czasowa jest również realizowana ze względu na potrzebę doboru częstotliwości roboczych do faktycznie występujących warunków propagacyjnych, zwłaszcza w odniesieniu do relacji radiowych stosujących fale jonosferyczne /ciągłe wykorzystanie danych z sondowania jonosfery wykonywanych przez aparaturę kontroli częstotliwości, w celu stosowania częst^{ot}otliwości roboczych zawierających się w paśmie $LUF \leq f_{rob} \leq FOT$ /. Koordynacja czasowa wykorzystania częstotliwości roboczych wiąże się również z uwzględnianiem priorytetów w przydziałach częstotliwości dla poszczególnych związków i oddziałów. W zależności od roli oddziału lub związku w działaniach bojowych lub operacji mogą one otrzymywać do swojej dyspozycji ograniczoną lub zwiększoną ilość częstotliwości radiowych. Na przykład w ciągu określonej doby związek taktyczny wykonujący główne zadanie armii/działający na

głównym kierunku uderzenia/powinien otrzymać zwiększoną ilość częstotliwości radiowych w celu optymalizacji możliwości manewru falami w warunkach zakłóceń celowych itp., natomiast można w tym przypadku okresowo ograniczyć ilość częstotliwości wykorzystywanych przez drugorzutowy związek taktyczny.

W toku prowadzenia operacji mogą zmieniać się odległości pomiędzy związkami prowadzącymi działania bojowe. Między innymi związki taktyczne mogą być użyte na zmienionych kierunkach w stosunku do założonych w planie operacji. Użycie związków taktycznych na nieplanowanych kierunkach może być przyczyną zmniejszenia się odległości koordynacyjnych. O ile powyższe zmiany w działaniach związków spowodują zmniejszenie się odległości poniżej wartości koordynacyjnej $/d_k /$, wówczas zachodzi potrzeba skorygowania przydziałów i wykorzystania częstotliwości /na przykład poprzez wprowadzenie do użytku rezerwowych kolumn danych radiowych/.

Omówiony zakres kierowania łącznością radiową obejmuje scentralizowane formy koordynacji czasowej wykorzystywania częstotliwości radiowych. Od właściwej realizacji koordynacji czasowej wykorzystania częstotliwości przez organy dyspozycyjne łączności radiowej oraz załogi radiostacji zależy ciągłość działania łączności.

Występuje ponadto potrzeba stosowania zdecentralizowanej koordynacji czasowej wykorzystania częstotliwości radiowych realizowanej bezpośrednio przez obsługi środków radiowych zwłaszcza radiostacji średniej mocy. Potrzeba wdrożenia zdecentralizowanej koordynacji czasowej wykorzystania częstotliwości radiowych wynika z następujących przesłanek:

- deficytu częstotliwości radiowych;
- zmieniającej się jednoczesności i intensywności wykorzystania poszczególnych relacji radiowych/zazwyczaj znaczna

- część sieci i kierunków radiowych jest wykorzystywana w ciągu 30 ÷ 60% czasu dowodzenia wojskami/;
- trudności w zachowaniu odległości koordynacyjnych pomiędzy relacjami wykorzystującymi identyczne częstotliwości radiowe, szczególnie w odniesieniu do krótkofalowych łączności;
 - do czasu styczności z nieprzyjacielem brak możliwości oceny wzajemnego oddziaływania środków emitujących fale radiowe, stosowanych przez walczące strony.

Przedstawione względy uzasadniają potrzebę wdrożenia zdecentralizowanych form koordynacji czasowej wykorzystania częstotliwości radiowych.

Radiostacje średniej mocy, wyposażone w generatory częstotliwości o dużej stabilności, dysponują zagęszczonymi siatkami częstotliwości roboczych, a mianowicie:

- w radiostacjach R-140 i R-137 odstępy między częstotliwościami roboczymi wynoszą 100 Hz;
- w radiostacjach R-118 i R-102 przy pracy radiotelefonicznej częstotliwości robocze można wyznaczać z odstępem co 1 kHz.

Ta właściwość radiostacji średniej mocy ułatwia planowanie częstotliwości roboczych, ponieważ umożliwia wyznaczanie różnych częstotliwości roboczych /nośnych/ dla poszczególnych relacji radiowych wykorzystywanych na TDW. Przy zróżnicowanych częstotliwościach roboczych /nośnych/ widma sygnałów są wzajemnie przesunięte. W związku z tym pasożytnicze oddziaływanie pomiędzy relacjami radiowymi w strefie dalekiej zmniejsza się. Zagęszczona siatka częstotliwości roboczych umożliwia ponadto manewr częstotliwościami pracy w wypadku występowania zakłóceń relacji radiowych, pochodzących

od radiostacji własnych lub przeciwnika. W celu wykorzystania tej możliwości /zwłaszcza w wypadku stosowania radiostacji R-137 i R-140 wyposażonych w układy 10-ciu zawczasu przygotowanych częstotliwości przełączanych w ciągu ok. 30 sekund/ dla sieci i kierunków radiowych należy wyznaczać nie tylko częstotliwości pracy /roboczą, zapasową, dzienną oraz nocną/, lecz również pasmo przestrajania częstotliwości roboczych, lub pomocnicze częstotliwości manewru. Badania przeprowadzone w Wojskowej Akademii Technicznej wykazały, że przestrojenie częstotliwości roboczej nawet o 0,5 kHz może zapewnić zdecydowaną poprawę łączności radiowej. W celu zwiększenia niezawodności łączności radiowej, co jest równoznaczne ze zwiększeniem jej kompatybilności, przydziały częstotliwości dla sieci i kierunków radiowych powinny obejmować wyznaczanie podstawowej częstotliwości roboczej oraz pasma lub częstotliwości manewru. Szerokość pasma manewru częstotliwościami może wynosić kilka, a nawet kilkanaście kHz.

Reasumując, przydział częstotliwości dla sieci /kierunku/ radiowej może obejmować wyznaczenie częstotliwości roboczej i pasma manewru, ~~lub częstotliwości roboczej i pasma manewru~~, lub częstotliwości roboczej i pomocniczych częstotliwości manewru, na przykład:

$$f_{\text{pracy}} = 3 \text{ MHz} \pm 5 \text{ kHz};$$

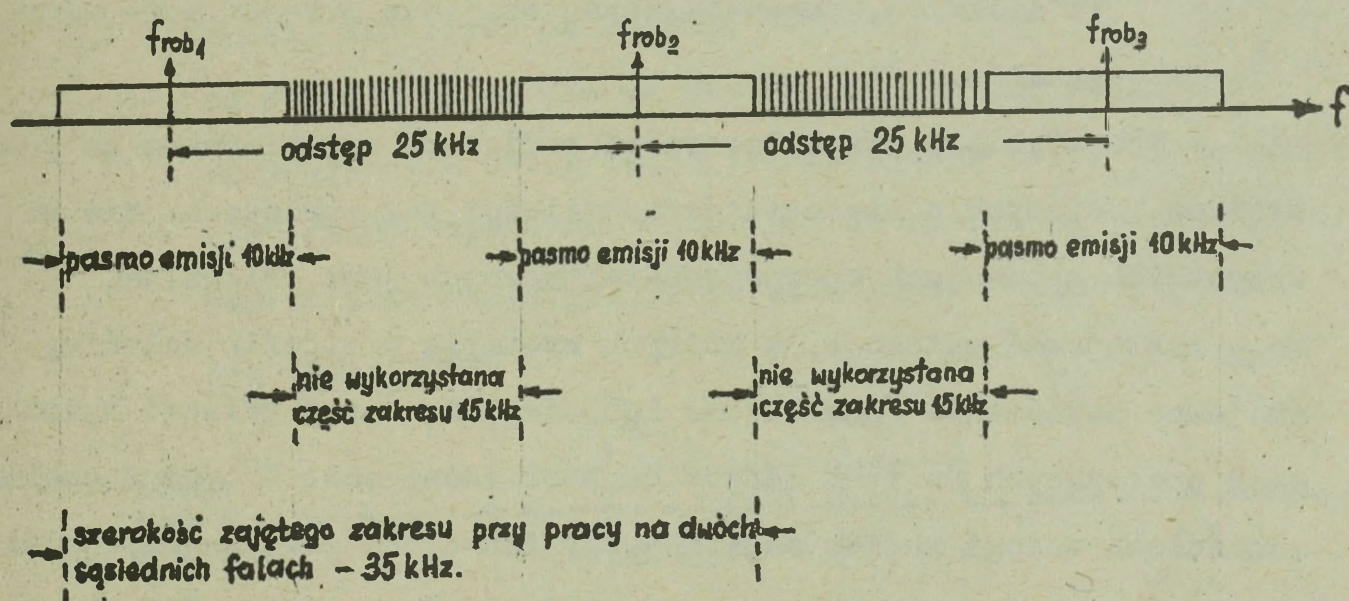
lub

$$f_{\text{pracy}} = 3 \text{ MHz} \text{ i } f_{\text{manewru}} = 2995, 2998, 3002, 3004, 3006 \text{ MHz}.$$

Na podstawowej częstotliwości pracy /częstotliwości roboczej/ następuje nawiązanie łączności i jej utrzymywania do czasu występowania zakłóceń. Pasma manewru lub pomocnicze częstotliwości manewru radiotelegrafistów powinni wykorzystywać samodzielnie w wypadku występowania zakłóceń, przeprowadzając uprzednio ocenę przydatności poszczególnych pomocniczych częstotliwości manewru /pasma manewru/.

Ze względu na niedostateczną stabilność generatorów częstotliwości obecnie stosowane radiostacje małej mocy takich możliwości nie posiadają ~~już~~. Dysponują one siatkami częstotliwości z następującymi odstępami:

- co 10 kHz radiostacji KF R-112 i R-104;
- co 25 kHz radiostacje UKF nowej generacji;
- co 50 kHz radiostacje UKF starej generacji.



Rys.17. Efektywność wykorzystania zakresu ultrakrótkofalowego przy odstępach częstotliwości roboczych co 25 kHz.

Przy niedostatecznym zagęszczeniu siatki częstotliwości roboczych występuje szereg ujemnych zjawisk efektywności wykorzystania zakresu częstotliwości radiowych. Analiza siatki częstotliwości radiostacji UKF z odstępem 25 kHz wykazuje /rysunek 17/:

- między poszczególnymi częstotliwościami roboczymi nie wykorzystuje się części zakresu o szerokości 15 kHz, tj. w zakresie 20 ÷ 52 MHz prawie 60% widma fal radiowych /19,2 MHz/;
- dla dwóch emisji radiowych na sąsiednich częstotliwościach zajęte jest pasmo o szerokości 35 kHz;

- w skali frontu /armii/ poszczególne przestrzennie oddalone sieci /kierunki/ radiowe pracujące na tych samych częstotliwościach, wykorzystują standardową siatkę częstotliwości, Utrudnia to zapewnienie optymalnej kompatybilności elektromagnetycznej, ze względu na brak możliwości wykorzystania zróżnicowanych częstotliwości roboczych w strefie dalekiej, zapewniających wzajemne przesunięcie widm sygnałów.

Kompatybilna praca łączności radiowej, organizowana za pomocą środków radiowych o niedostatecznej ilości fal roboczych, nie we wszystkich sytuacjach operacyjno-taktycznych jest osiągalna.

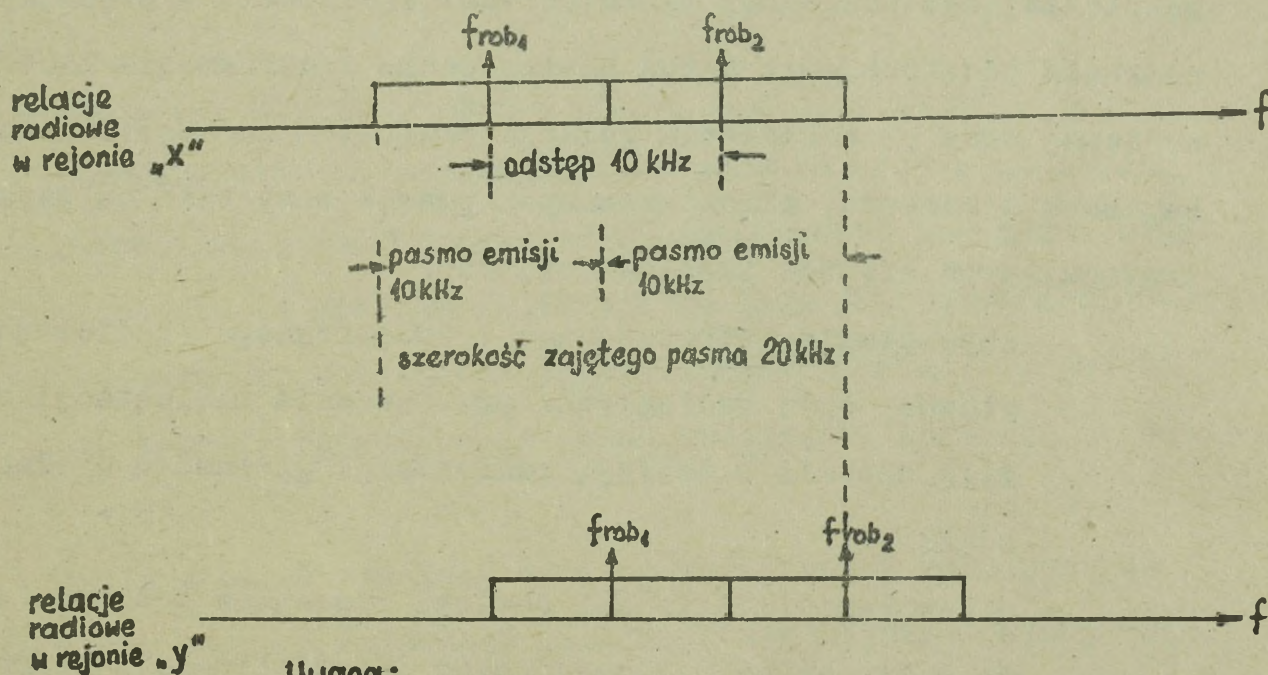
Mogą występować sytuacje, w których wystąpią w strefie dalekiej wzajemne zakłócenia /zamierzone lub niezamierzone/ relacji radiowych pracujących na tych samych częstotliwościach. W takich okolicznościach załogi radiostacji i osoby funkcyjne powinny umiejętnie stosować przemienne przekazywanie wiadomości w poszczególnych sieciach /kierunkach/ radiowych, zorganizowanych przez różne związki lub oddziały. Ten wymuszony rodzaj koordynacji czasowej wykorzystania łączności radiowej /częstotliwości radiowych/ nie zapewniający zadawalającej terminowości łączności, był wielokrotnie stosowany w okresie drugiej wojny światowej.

Perspektywiczny rozwój środków radiowych małej mocy w celu zmniejszenia deficytu częstotliwości i złagodzenia warunków zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej, powinien zmierzać w dwóch kierunkach:

- zakładać wprowadzenie zagęszczonej siatki częstotliwości roboczych z odstępem co 1 kHz,
- zapewniać rozszerzenie zakresu częstotliwości radiostacji ultrakrótkofalowych.

Przy podanych parametrach perspektywicznych ultrakrótkofalowych radiostacji małej mocy będzie zapewniona wyższa efektywność łączności radiowej, polegającej na /patrz rysunek 18/:

- możliwości pełnego wykorzystania zakresu częstotliwości radiostacji /w 100%/;
- zmniejszeniu zajętości pasma częstotliwości dla dwóch emisji radiowych do 20 kHz;
- ze względu na możliwość doboru różnych częstotliwości roboczych dla dwóch relacji radiowych przestrzennie oddalonych /widma sygnałów w stosunku do siebie są przesunięte/ zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej stanie się łatwiejsze.



Rys.18. Efektywność wykorzystania zakresu ultrakrótkofalowego przy odstępach częstotliwości roboczych co 1 kHz/wariant/.

Zastosowanie siatki częstotliwości z odstępem co 1 kHz w perspektywnych ultrakrótkofalowych i krótkofalowych radiostacjach małej mocy umożliwi ponadto stosowanie pomocniczych częstotliwości manewru, stwarzając lepsze warunki zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej w strefie dalekiej.

Zdecentralizowana koordynacja czasowa wykorzystania częstotliwości radiowych, obejmująca przechodzenie sieci i kierunków radiowych na częstotliwości zapasowe oraz pomocnicze częstotliwości manewru jest ważkim czynnikiem ochrony łączności radiowej przed zakłóceniami celowymi oraz wzajemnymi zakłóceniami środków radiowych. Jej realizacja przy obecnym wyposażeniu technicznym parku radiostacji może być realizowana tylko w ograniczonym stopniu, nie zabezpieczającym pożądanej niezawodności łączności. Występuje więc potrzeba udoskonalania metod nawiązywania i utrzymania łączności radiowej oraz przechodzenia relacji radiowych na częstotliwości zapasowe i manewru, ukierunkowanych przede wszystkim na uzyskanie następujących efektów eksploatacyjnych:

- zapewnienie jednoczesnego i dwustronnego /radiostacji głównej oraz podległych/ przełączania radiostacji na inną falę zgodnie z decyzją radiostacji głównej w ujednoliconym czasie;
- zapewnienie możliwości pomiaru stosunków poziomów sygnału do zakłóceń na poszczególnych częstotliwościach /roboczych, zapasowych i pomocniczych/ i zgodnie z ich oceną automatyczne lub subiektywne /wg. decyzji operatora radiostacji głównej/ przejście na optymalną częstotliwość pracy;
- skrócenie do minimum czasu zautomatyzowanego przełączania sieci /kierunków/ radiowych na inną częstotliwość pracy /do 1 sekundy/;

- zwiększenie stopnia maskowania łączności radiowej w wyniku stosowania częstych zmian częstotliwości pracy wszystkich relacji radiowych pracujących w systemie łączności wg. ustalonego programu wykluczającego wzajemne zakłócanie się relacji radiowych /na przykład z częstotliwością co 2 lub 4 minuty, a nawet co 0,5 lub 1 minutę/.

Wprowadzenie podanych udoskonaleń organizacyjno-technicznych łączności radiowej w odniesieniu do relacji radiowych organizowanych za pomocą radiostacji R-140, R-137 oraz nowego typu aparatowni radioodbiorniczej typu "CYNIA", lub przez kolejne perspektywiczne wersje środków radiowych, zakłada się zrealizować w najbliższych latach w wyniku wdrożenia samoadaptacyjnych linii radiowych, umożliwiających realizację wyżej podanego zakresu czynności w sposób zautomatyzowany.

Zakłada się wdrożenie dwóch stopni samoadaptacji:

- pierwszy stopień samoadaptacji, wprowadzonej w najbliższych latach, obejmie automatyzację nawiązywania łączności oraz przełączanie środków radiowych na inną falę w ramach 10-ciu zawczasu przygotowanych częstotliwości /ZPCz/, na podstawie decyzji podejmowanej przez urządzenia kontroli jakości kanału;
- drugi stopień samoadaptacji, wprowadzany w kolejnych latach, zapewni dodatkowo możliwość samoczynnej zmiany częstotliwości pracy /każdej z 10 ZPCz/ w ramach 30-tu pomocniczych częstotliwości manewru nazywanych w literaturze technicznej subfalami /zawartych w paśmie manewru 15 kHz, po obu stronach częstotliwości pracy z odstępem co 0,5kHz/. Jako kryterium samoczynnego przełączania subfal będzie automatycznie oceniany stosunek sygnału do szumu/zakłóceń/

na poszczególnych subfalach.

Zastosowanie samoadaptacyjnych sieci i kierunków radiowych /linii radiowych/ z dwoma stopniami samoadaptacji umożliwi przystrajanie relacji radiowej w ramach 300 częstotliwości pracy, tj. 10-ciu odległych częstotliwości /ZPCz/ i 290 przylegających do nich subfal. Omówione udoskonalenia zapewnią właściwe rozwiązanie kompatybilności pracy środków radiowych średniej mocy.

3. Zasady zapewnienia kompatybilności pracy środków radiowych w strefie bliskiej - wyznaczanie odstępów częstotliwościowych.

Wzajemnymi zakłóceniami strefy dalekiej nazywamy zakłócenia występujące pomiędzy oddalonymi środkami radiowymi pracującymi na tych samych częstotliwościach /lub pasmach/.

Sposoby przeciwdziałania tym zakłóceniom zostały omówione w punktach 1 i 2 niniejszego rozdziału.

Wzajemnymi zakłóceniami strefy bliskiej nazywamy zakłócenia występujące pomiędzy skoncentrowanymi na niedużej przestrzeni /lub w jednym obiekcie/ środkami radiowymi pracującymi na różnych częstotliwościach.

Wzajemne zakłócenia w strefie bliskiej powodowane są głównie przez promieniowanie uboczne nadajników i boczne kanały odbioru odbiorników tj^{x/}:

- zakłócenia podstawowych kanałów odbiorników przez sygnały nadajników o częstotliwościach harmonicznych oraz sygnały uboczne /pasożytnicze/ występujące w pobliżu pasma emisji nadajnika;
- zakłócenia kanałów pasożytniczych odbiorników / o częstotliwości lustrzanej lub pośredniej/ przez podstawowe kanały nadajników;
- zakłócanie podstawowych kanałów odbiornika przez zakłócenia intermodulacyjne, powstające na wejściu odbiornika / w nieliniowym układzie/ jako produkt jednoczesnego oddziaływania kilku sygnałów nadajników o częstotliwościach podstawowych i harmonicznych.

x/ Boczne kanały odbioru odbiorników: lustrzane, na częstotliwości pośredniej itp.

Przedział ochronny /odstęp częstotliwościowy/ eliminujący zakłócenia od podstawowych sygnałów nadajnika w strefie bezpośredniej /przy rozmieszczaniu radiostacji na jednym obiekcie/ powinien wynosić ± 4 MHz lub $\pm 10\%$ wartości częstotliwości roboczych dla radiostacji UKF, a dla radiostacji KF nie mniej jak ± 1 MHz.

Przy rozmieszczeniu radiostacji w strefie bliskiej na odległościach między nimi w granicach 200 ÷ 300 m, odstępy między częstotliwościami roboczymi powinny wynosić 100 kHz dla radiostacji małej mocy i 200 ÷ 300 kHz dla radiostacji średniej mocy. Przy wykorzystaniu środków radiowych w układzie centrum odbiorcze - centrum nadawcze i rozmieszczeniu ich na odległości 5 ÷ 10 km wystarczający jest odstęp częstotliwościowy rzędu 16 ÷ 20 kHz pomiędzy częstotliwościami roboczymi poszczególnych relacji.

Odstępy częstotliwościowe należy również przestrzegać w wypadku wykorzystania środków radiowych do pracy dwupłkowej w celu zapobieżenia możliwości zakłócania pracy odbiornika wykorzystującego falę λ_1 przez nadajnik emitujący energię na fali λ_2 . Na przykład w odniesieniu do radiostacji R-140 odstęp między częstotliwościami nadawczą i odbiorczą przy pracy dwupłkowej powinien wynosić ponad 0,5 MHz.

Odstęp częstotliwościowy przed zakłóceniami od sygnałów harmonicznych z uwzględnieniem piątej harmonicznej włącznie powinien wynosić $\pm 50 \div 100$ kHz przy rozmieszczeniu środków radiowych w jednym obiekcie.

Odstęp częstotliwościowy przed zakłóceniami intermodulacyjnymi, zakładając jednoczesną pracę na nadawanie nie więcej niż trzech nadajników w jednym obiekcie powinien wynosić od 40 do 60 kHz.

W celu zapewnienia poprawnej pracy środków radioliniowych

Zakłócenia
144 MHz
UKF

i wyeliminowania możliwości oddziaływania na nie środków radiowych należy stosować odstępy terytorialne. Odległość pomiędzy stacjami radioliniowymi i radiostacjami KF nie może być mniejsza niż 2 km.

Uwzględniając wyżej wyszczególnione rodzaje zakłóceń oraz prze-
-działy ochronne opracowane zostały dla poszczególnych typów wozów dowodzenia /PED/ tablice fal wzajemnie niezakłócanych.

Ilość zestawów częstotliwości wzajemnie niezakłócanych dla niektórych WD i PED przedstawia tabela:

Lp	Typ wozu dowodzenia /PED/	Ilość środków radiowych	Ilość zestawów częstotliwości wzajemnie niezakłócanych
1	R-2	4	300
2	R-3	6	204
3	R-3A	7	101
4	R-3z/R-4/	5	104
5	RD-115z	3	215
6	R-5	3	117
7	PED-2	8	145

Określenie "zestaw częstotliwości wzajemnie niezakłócanych" oznacza, że w danym typie wozu dowodzenia /powietrznego elementu dowodzenia/ można wykorzystywać środki radiowe na wskazanych w tabelach częstotliwościach bez obawy powstawania zakłóceń wzajemnych.

Na węzłach łączności zazwyczaj wozy dowodzenia są wykorzystywane w znacznym skupieniu. W tym przypadku przy wyznaczaniu częstotliwości powstaje konieczność dokonania interpolacji, której celem powinno być zapobieżenie możliwości powstawania zakłóceń pracy odbiorników od sygnałów nadajników różnych wozów dowodzenia.

Przy rozmieszczaniu wozów dowodzenia na odległościach 100 ÷ 200 m dobór częstotliwości powinien obejmować:

- wybór częstotliwości roboczych dla poszczególnych WD zgodnie z tabelami;

- zapewnienie odstępu między poszczególnymi częstotliwościami roboczymi stosowanymi w różnych wozach rzędu ± 100 kHz. Przy większych odległościach WD kryterium odstępu częstotliwościowego ulega ograniczeniu.

Reasumując, planowanie przydziału częstotliwości roboczych na szczeblu armii powinno polegać na:

- wyznaczaniu zestawów częstotliwości roboczych przeznaczonych dla poszczególnych związków taktycznych oddziałów i pododdziałów z punktu widzenia zapewnienia zewnętrznej kompatybilności elektromagnetycznej łączności radiowej w strefie dalekiej /odległości koordynacyjne i koordynacja czasowa/;
- wytypowanie w poszczególnych zestawach takich częstotliwości, aby zapewnić w strefie bliskiej wewnętrzną kompatybilność elektromagnetyczną środków radiowych, pracujących w skupieniu na ograniczonej przestrzeni /odstępy częstotliwościowe/.

IV. OCENA MOŻLIWOŚCI OCHRONY ŁĄCZNOŚCI RADIOWEJ PRZED ZAKŁÓCENIAMI
CELOWYMI NIEPRZYJACIELA W WYNIKU STOSOWANIA MANEWRU CZĘSTOTLI-
WOŚCIAMI RADIOWYMI.

Podstawowa ilość relacji radiowych stosowanych w skali armii pracuje na falach przyziemnych. W związku z tym możliwości oddziaływania nieprzyjaciela środkami walki radioelektronicznej zostaną rozpatrzone dla tego rodzaju propagacji fal. Skuteczność zakłóceń można ocenić na podstawie uproszczonego wzoru określającego skuteczność zakłóceń:

$$K_z = \sqrt{\frac{P_z}{P_s}} \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

gdzie: K_z - współczynnik skuteczności zakłóceń wyrażający stosunek natężenia pola elektrycznego sygnału zakłócającego $/E_z/$ do natężenia pola elektrycznego sygnału użytecznego $/E_u/$ na wejściu odbiornika /anteny/,
tzn. $K_z = \frac{E_z}{E_u}$. Zakłócenia są skuteczne o ile K_z uzyskuje wartości:

- przy pracy telegraficznej - 1
- przy pracy radiofonicznej
dwuwstęgowej - 1,5
- przy pracy radiofonicznej
jednowstęgowej - 5;

P_z - moc stacji zakłócającej;

P_s - moc radiostacji korespondujących /zakłócanych/;

r - odległość między radiostacjami korespondującymi;

R - odległość pomiędzy stacją zakłócającą i radiostacjami korespondującymi.

Na podstawie przytoczonego wzoru można ustalić, że wynikiem determinującym skuteczność zakłóceń jest stosunek odległości /występuje w kwadracie/, natomiast stosunek mocy odgrywa drugoplanową rolę /występuje pod pierwiastkiem/. Ten fakt między innymi określa potrzebę:

- przemieszczania punktów dowodzenia w toku działań ze znacznie większą częstotliwością jak w okresie drugiej wojny światowej / w celu skrócenia odległości pomiędzy utrzymującymi łączność dowództwami i sztabami/;
- rozwijania wysuniętych punktów dowodzenia /punktów obserwacyjnych/ w rejonie ^{przedszo} rzutowych związków, oddziałów i pododdziałów;
- wykorzystania powietrznych elementów dowodzenia, umożliwiających skrócenie odległości między korespondującymi radiostacjami do minimum.

W toku działań bojowych mogą występować trzy ewidentne stosunki odległościowe:

- trasa sygnału zakłócającego jest znacznie dłuższa od trasy sygnału użytecznego $/R \gg r/$;
- trasy obu sygnałów są bliskoznaczne $/R \approx r /$;
- trasa sygnału zakłócającego jest znacznie krótsza od trasy sygnału użytecznego $/R \ll r/$.

W pierwszym przypadku $/ R \gg r/$ zakłócenia są całkowicie nieskuteczne. Na przykład zakłócenie sieci radiowej kompanii czołgów jest nieralne przy użyciu typowej stacji zakłócającej NATO AN/MRQ-22 o mocy 150 W rozmieszczonej w odległości 5-8 km od linii styczności wojsk:

$$P_z = 150 \text{ W}, P_s = 20 \text{ W}, r = 1 \text{ km i } R = 6 \text{ km.}$$
$$K_z = \sqrt{\frac{150}{20}} \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 0,1$$

W drugim przypadku $R = r$ zakłócenia będą skuteczne. Na przykład zakłócenie sieci radiowej dowódcy dywizji zorganizowanej za pomocą radiostacji R-111 /odległość do pułku 10 km/ przy użyciu stacji zakłócającej AN/MRQ-22 / z odległości 10 km/ zapewni ^{następująca} wartość współczynnika skuteczności zakłóceń:

$$P_z = 150W, P_s = 75W, r = 10km \text{ i } R = 10 \text{ km}$$

$$K_z = \sqrt{\frac{150}{75}} / \frac{10}{10} / \approx \underline{\underline{1,5}}$$

Powyższa analiza pozwala stwierdzić, że przy użyciu naziemnych stacji zakłócających i stosowaniu zakłóceń selektywnych nieprzyjaciel nie jest w stanie zakłócić 100% relacji radiowych. Biorąc pod uwagę jego potencjał ilościowy stacji zakłócających oraz przedstawione możliwości techniczne należy przyjąć, że w zależności od koncentracji zakłóceń w pasie działania armii nieprzyjaciel może dezorganizować od 25% do 50% relacji radiowych na poszczególnych kierunkach.

W związku z tym, aby zapewnić ochronę łączności radiowej przed zakłóceniami selektywnymi, należy dysponować w skali armii częstotliwościami zapasowymi w ilości conajmniej 30 ÷ 50% potrzeb częstotliwości roboczych.

Najgroźniejsze są zakłócenia z małych odległości $R \ll r$. W tym przypadku nieprzyjaciel może wykorzystać nadajniki zakłócające jednorazowego użytku o mocy do 75W, stosując zakłócenia zaporowe.

Nadajniki zakłócające jednorazowego użytku mogą być montowane w pociskach artyleryjskich lub bombach lotniczych i lokowane bezpośrednio w rejonach rozwinięcia oraz działania ugrupowań bojowych naszych wojsk.

Zakłócenia za pomocą nadajników jednorazowego użytku w wypadku stosowania zakłóceń zaporowych w paśmie 1 ÷ 60 MHz zdeorganizują pracę relacji radiowych pracujących za pomocą radiostacji R-111 z odległości 1 km:

$$P_s = 75 \text{ W} \quad \text{gdzie: } P_N - \text{moc nadajnika jednorazowego}$$

$$P_z = \frac{P_N \cdot \Delta F}{\Delta f} \quad \text{użytku;}$$

$$P_z = \frac{75 \cdot 10 \cdot 10^3}{59 \cdot 10^6} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ W} \quad \Delta F - \text{zakłócanie pasmo przy } F_3$$

$$\Delta f - \text{zakłócanie pasmo} - 59 \text{ MHz.}$$

$$r = 10 \text{ km}$$

$$K_z = 1,5$$

$$R = \frac{r}{K_z} \sqrt[4]{\frac{P_z}{P_s}} = \frac{10}{1,5} \sqrt[4]{\frac{15 \cdot 10^{-3}}{75}} \approx 1 \text{ km}$$

Należy jednak liczyć się z bardziej efektywnym wykorzystaniem nadajników jednorazowego użytku. Przy wyposażeniu ich w odbiorniki rejestrujące silne sygnały, nadajniki mogą generować zakłócenia tylko na wybranych częstotliwościach, "wskazanych" przez odbiorniki, tj. stosować zakłócenia selektywno - zaporowe.

Przy podanych wyżej warunkach zasięg zakłóceń wzrasta kilkakrotnie. Nadajniki przystosowane do zakłóceń selektywno - zaporowych będą skutecznie zakłócać radiostacje R-111 z odległości 4 km:

$$P_s = 75 \text{ W} \quad \text{gdzie: } P_N - \text{moc nadajnika zakłócającego}$$

$$P_z = \frac{P_N}{n} = \frac{75}{15} = 5 \quad \text{- 75 W;}$$

$$n - \text{ilość zakłócanych relacji} - 15$$

$$r = 10 \text{ km}$$

$$K_z = 1,5$$

$$R = \frac{r}{K_z} \sqrt[4]{\frac{P_z}{P_s}} = \frac{10}{1,5} \sqrt[4]{\frac{5}{75}} = 4 \text{ km}$$

Przy stosowaniu zakłóceń zaporowych i selektywno - zaporowych przechodzenie na fale zapasowe jest pozbawione sensu, ponieważ są w

podobnym stopniu zagrożone. Ochrona łączności radiowej w tym przypadku może być osiągnięta poprzez niszczenie nadajników jednorazowego użytku oraz przemieszczenie punktów dowodzenia i węzłów łączności w inne rejony.

Reasumując, ochrona łączności radiowej przed zakłóceniami przy wykorzystaniu częstotliwości zapasowych może być stosowana w ograniczonym zakresie, tj. w przypadku stosowania zakłóceń selektywnych.

W przypadku zakłóceń zaporowych z bliskich odległości realizowanych za pomocą nadajników jednorazowego użytku, ochrona łączności radiowej może być zapewniona w wyniku ich niszczenia oraz przemieszczenia punktów dowodzenia i węzłów łączności do nowych rejonów.

Przedstawione sposoby ochrony łączności przed zakłóceniami należy zaszeregować do biernych, nie zapewniających ciągłości funkcjonowania łączności. Dlatego też niezbędne jest stosowanie aktywnych sposobów ochrony łączności, osiągane w wyniku skutecznego obezwładniania sił i środków wojny radioelektronicznej nieprzyjaciela, a także jego środków przenoszenia nadajników jednorazowego użytku.

V. PLANOWANIE ROZDZIAŁU ULTRAKRÓTKOPALOWYCH CZĘSTOTLIWOŚCI
RADIOWYCH W ARMII.

W armii o typowym składzie / 5 dywizji/ może być zorganizowanych na falach ultrakrótkich ponad 1100 relacji radiowych, w tym:

- ponad 1000 relacji, pracujących za pomocą nisko zawieszonych anten, tj. wykorzystujących falę powierzchniową. W tej ilości około 40 % relacji stosuje wyłącznie radiostacje o mocy 1 W /R-107, R-105, R-108 i R-109/ oraz około 60 % relacji stosuje radiostacje o mocy 20 W i więcej / R-123, R-113, R-105 PM, R-108 PM i R-109 PM/;
- ponad 40 relacji radiowych, wykorzystujących radiostacje o mocy 75 W oraz anteny zawieszane na wysokości zbliżonej do stosowanych długości fal. Relacje te na postoju wykorzystują fale przyziemne typu ogólnego;
- ponad 20 relacji organizowanych za pomocą radiostacji R-137 o średniej mocy wykorzystujących propagację przyziemnych fal typu ogólnego oraz fale troposferyczne.

Zestawienie relacji radiowych organizowanych w skali armii^{x/} przedstawia tabela:

x/ Podane ilości nie obejmują sieci radiowych organizowanych za pomocą radiostacji R-126.

Szczebel organi- zacyjny	DZ	DZ-4	DFanc	Armia oraz związki i oddziały armijne	Łącznie potrzeby
Rodzaj stosowa- nej fali i mocy r/st.					
Fala powierzchniowa P = 1 W	70	280	50	70	400
Fala powierzchniowa P = 20 ÷ 30 W	110	440	110	110	660
Fala przyziemna typu ogólnego P = 75 W	6	24	6	12	42
Fala przyziemna typu ogólnego i troposferycz- na P = 1 kW	1	4	1	17	22
Łącznie	197	748	167	209	1124

Z zestawienia ilości relacji radiowych stosowanych w skali armii można sprecyzować szereg dezyderatów odnośnie planowania rozdziału częstotliwości radiowych:

- ilość sieci i kierunków radiowych organizowanych w armii wymaga zaangażowania prawie pełnej ilości częstotliwości roboczych jakimi dysponują radiostacje UKF małej mocy /brak jest rezerwy na wyznaczenie częstotliwości zapasowych/;
- w celu zapewnienia kompatybilności łączności radiowej należy skoordynować wykorzystanie częstotliwości radiowych pomiędzy armiami, stosując je powtórnie na odległościach odpowiadających wartości odległości koordynacyjnych, a także należy zbadać możliwości niejednokrotnego stosowania częstotliwości w skali jednej armii;

- w celu ułatwienia planowania rozdziału i wykorzystania częstotliwości radiowych w skali armii i frontu celowe jest stosowanie grup i zestawów częstotliwości.

Tak więc, aby zoptymalizować planowanie wykorzystania częstotliwości radiowych UKF należy ocenić odległości koordynacyjne oraz ustalić rodzaje i ilości grup ^{armii} i zestawów częstotliwości.

Dla poszczególnych rodzajów propagacji fal oraz poszczególnych typów radiostacji odległości koordynacyjne będą różne. W związku z tym celowe jest grupy częstotliwości wytypować odpowiednio do stosowanych mocy radiostacji i występujących wielkości odległości koordynacyjnych. Ilość niezbędnych grup częstotliwości dla poszczególnych wartości odległości koordynacyjnych /typów radiostacji i rodzajów propagacji/ zależy będzie od składu ugrupowania operacyjnego armii oraz parametrów odległościowo - przestrzennych w ramach których prowadzi działania ugrupowanie operacyjne armii. Natomiast ilość dywizyjnych zestawów częstotliwości, obejmujących grupy częstotliwości, zależy będzie wyłącznie od składu armii /ilości związków taktycznych/. Należy również wytypować grupy do zestawu armijnego.

Częstotliwości do pracy radiostacji R-137 można planować pomiędzy częstotliwościami roboczymi radiostacji małej mocy /patrz rysunek 17 - rozdział III/, zajmując nie wykorzystane odcinki zakresu UKF przez radiostacje małej mocy oraz część wolnego zakresu $52 \div 60$ MHz. W podobny sposób można planować częstotliwości zapasowe dla radiostacji R-140 w pasie $20 \div 30$ MHz, wykorzystywane do łączności po wykonaniu wysokościowych wybuchów jądrowych, w następstwie których występuje deformacja jonosfery i kilkunastogodzinne przerwy w pracy relacji radiowych na falach jonosferycznych.

Planowanie w podany sposób częstotliwości dla relacji radiowych wykorzystujących radiostacje R-137 i R-140 /w paśmie 20-30MHz/

zniejszy deficyt częstotliwości standardowych radiostacji UKF małej mocy.

Uwzględniając możliwość wydzielenia dla relacji radiowych wykorzystujących radiostacje R-137 i R-140. znacznej ilości częstotliwości radiowych poza siatką standardową radiostacji UKF małej mocy, zasady ich wydzielenia w dalszych rozważaniach nie będą rozpatrywane. Odległości koordynacyjne mogą osiągać następujące wartości:

Ocena odległości koordynacyjnej	Rodzaj fali i wielkość mocy radio stacji	Fala powierzchniowa P = 1 W	Fala powierzchniowa P = 20 - 30W	Fala typu ogólnego P = 75 W
d_u /km/		12 km ^{x/}	20 ÷ 30 km	45 km
l_d		1,1	1,2	1,25
$p^{xx/}$		3	3	5
W		1,1,	1,1	1,1
d_k /km/		35 km	80 km	170 km

Największe trudności występują w kompatybilnym wykorzystaniu częstotliwości radiowych w operacji zaczepnej armii ze względu na największe zagęszczenie wojsk.

W operacji zaczepnej armia może prowadzić działania w pasie o szerokości 60 ÷ 100 km, mając rozwinięte ugrupowanie operacyjne na głębokość 60 ÷ 100 km.

x/Przy wykorzystaniu anteny promieniowej zasięg użyteczny w kierunku prostopadłym do osi anteny jest znacznie mniejszy/a więc nie 15 lub 25km/
xx/ p = 3 - przyjęto dla łączności nieutajnionej;
p = 5 - przyjęto dla łączności utajnionej.

Tak więc dla armii typowymi wielkościami będą szerokość pasa natarcia i głębokość ugrupowania bojowego wynosząca około 80 km.

Porównanie parametrów przestrzennych ugrupowania operacyjnego armii z odległościami koordynacyjnymi wskazują, że:

- częstotliwości robocze do pracy falą powierzchniową i radiostacjami o mocy $1 \text{ W} / d_k = 35 \text{ km/}$ mogą być w skali armii stosowane niejednokrotnie;
- częstotliwości robocze do pracy falą powierzchniową i radiostacjami o mocy $20 - 30 \text{ W} / d_k = 80 \text{ km/}$ mogą być w skali armii stosowane jednokrotnie i powtórzone w sąsiednich armiach według ustalonej zasady, przeciwdziałającej użyciu ich na odległościach mniejszych od koordynacyjnej;
- częstotliwości robocze do pracy falą typu ogólnego i radiostacjami o mocy 75 W /uwzględniając ponadto, że współdziałają one z powietrznymi elementami dowodzenia, których zasięg użyteczny i zakłóceńowy jest znacznie większy w porównaniu z zasięgami radiostacji naziemnych/ nie mogą być stosowane w sąsiednich armiach.

Uwzględniając wnioski wynikające z ocen parametrów przestrzennych ugrupowania operacyjnego armii oraz odległości koordynacyjnych, a także potrzebę wydzielenia częstotliwości roboczych dla frontowych związków i oddziałów działających w pasie armii na wysokości usytuowania ugrupowania armijnego, można ustalić niezbędną ilość grup częstotliwości.

W celu zapewnienia pracy relacji radiowych wykorzystujących fale powierzchniowe i radiostacje o mocy 1 W , przy założeniu zapewnienia łączności dla 6-ciu podstawowych składników armii^{x/} przy

x/ pięć dywizji oraz armijne związki i oddziały.

odległościach koordynacyjnych o połowę mniejszych od parametrów przestrzennych ugrupowania armijnego, można ograniczyć się do 5-ciu grup częstotliwości /Nr grup od 1 do 5/ po 70 częstotliwości każda. Łączne potrzeby grup Nr 1 ÷ 5 wyniosą 350 częstotliwości /tj. o 50 częstotliwości mniej w stosunku do ilości relacji radiowych wykazanych w tabeli "Zestawienie relacji radiowych organizowanych w skali armii"/.

W celu zapewnienia pracy relacji radiowych wykorzystujących fale powierzchniowe i radiostacje o mocy 20 ÷ 30 W, przy założeniu zapewnienia łączności dla 6-ciu podstawowych składników armii i równoznaczności odległości koordynacyjnych z parametrami przestrzennymi ugrupowania operacyjnego armii, zachodzi potrzeba wydzielenia 6-ciu grup częstotliwości /Nr grup od 11 do 16/ po 110 częstotliwości każda. Łączne potrzeby grup Nr 11 ÷ 16 wyniosą 660 częstotliwości radiowych /tj. ilość ich jest równoznaczna z ilością relacji radiowych wykazanych w tabeli "Zestawienie relacji radiowych organizowanych w skali armii"/.

W celu zapewnienia pracy relacji radiowych wykorzystujących fale przyziemne typu ogólnego i radiostacje o mocy 75 W zachodzi potrzeba zarezerwowania znacznie większej ilości ^{częstotliwości od ilości} relacji radiowych organizowanych w armii. Konieczność taka wynika z następujących względów:

- sąsiednie armie oraz frontowe związki i oddziały, biorąc pod uwagę wielkość odległości koordynacyjnych występujących w wypadku wykorzystania radiostacji typu R-111 i anten zawieszonych na wysokości około 10 m, powinny stosować inne częstotliwości radiowe;
- dla części relacji radiowych wykorzystujących radiostacje R-137 /dla których można wyznaczać częstotliwości robocze

odmienne od standardowych częstotliwości ustalonych dla UKF radiostacji małej mocy/ ze względu na potrzebę ich współpracy z wozami dowodzenia i powietrznymi elementami dowodzenia /za pomocą radiostacji R-111/ należy przydzielić częstotliwości ustalone dla UKF radiostacji małej mocy.

Z powyższych ustaleń wynika, że dla relacji radiowych wykorzystujących fale typu ogólnego i radiostacje o mocy 75 W i w niektórych przypadkach 1 KW /współpraca z PED/ zachodzi potrzeba zaplanowania conajmniej 4-ech grup częstotliwości /Nr grup od 21 do 24/ po 42 częstotliwości każda. Łączne potrzeby grup nr 21-24 wyniosą 168 częstotliwości /a więc znacznie więcej od ilości relacji radiowych wykazanych w "Zestawieniu relacji radiowych organizowanych w skali armii/.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można sformułować następujące wnioski ogólne:

- o ile odległości koordynacyjne są większe od parametrów przestrzennych ugrupowania operacyjnego /taktycznego/ związku w celu zapewnienia bezkolizyjnej pracy środków radiowych w skali całego ugrupowania wojsk, należy wydzielić znacznie większą ilość częstotliwości od ilości relacji radiowych organizowanych w danym związku;
- o ile odległości koordynacyjne są mniejsze od parametrów przestrzennych ugrupowania operacyjnego /taktycznego/ związku można zapewnić bezkolizyjne funkcjonowanie łączności radiowej w skali całego ugrupowania wojsk za pomocą mniejszej ilości częstotliwości roboczych w stosunku do ilości organizowanych sieci i kierunków w danym związku;
- o ile odległości koordynacyjne są równoznaczne z parametrami przestrzennymi ugrupowania operacyjnego/taktycznego/

Związku można zapewnić bezkolizyjne funkcjonowanie łączności radiowej w skali całego ugrupowania wojsk za pomocą ilości częstotliwości roboczych odpowiadającej ilości relacji radiowych organizowanych w rozpatrywanym związku. Zestawienie grup częstotliwości roboczych niezbędnych do zapewnienia łączności w armii przy zachowaniu kompatybilności w skali całego ugrupowania wojsk przedstawia tabela:

Przeznaczenie grup częstotliwości	Ilość grup częstotliwości i numery grup	Ilość częstotliwości w jednej grupie	Ilość zaangażowanych częstotliwości
Dla potrzeb relacji radiowych pracujących falą powierzchniową i wykorzystujących radiostacje o mocy 1W/nisko zawieszane anteny/.	5 -od Nr 1 do Nr 5	70	350
Dla potrzeb relacji radiowych pracujących falą powierzchniową i wykorzystujących radiostacje o mocy 20-30W/nisko zawieszane anteny/.	6 -od Nr 11 do Nr 16	110	660
Dla relacji radiowych pracujących falą przyziemną typu ogólnego i wykorzystujących radiostacje o mocy 75W w niektórych przypadkach, do współpracy z PED o mocy 1kW /anteny zawieszane na wysokości $h \approx \lambda$ /.	4 -od Nr 21 do Nr 24	42	168
Rezerwa częstotliwości roboczych dla frontowych związków i oddziałów działających w pasie armii na wysokości usytuowania operacyjnego armii i innych, wynikających z potrzeby zapewnienia kompatybilności.	1 -Nr 31	103	103
Łączne potrzeby ilości częstotliwości roboczych			1281

Z powyższego zestawienia wynika, że przy obecnym parku radiostacji UKF można w sposób kompatybilny zaplanować tylko rozdział częstotliwości roboczych, angażując pełną ilość częstotli-

-ści pracy jakimi dysponują radiostacje R-107 oraz R-111/1281 fal/
oraz R-123 /1261 fal/.

Wykorzystanie poszczególnych grup częstotliwości ilustruje rysunek
Nr 19.

W przedstawionym na rysunku 19 wariacie wykorzystania
grup częstotliwości te same grupy są wykorzystywane na odległo-
ściach:

- grupy nr 1, 2, 3, 4 i 5 rzędu 50 - 60 km /pożądana
odległość koordynacyjna 35 km/;
- grupy nr 11, 12, 13, 14, 15 i 16 rzędu 80 ÷ 90 km
/pożądana odległość koordynacyjna 80 km/;
- grupy nr 21, 22, 23, 24 i 31 nie powtarzają się /pożąda-
na odległość koordynacyjna 170 km/.

Na podstawie rysunku Nr 19 można określić zestawy często-
tliwości wykorzystywane w armii:

Przeznaczenie zestawu /związek taktyczny lub operacyjny/	Nr zestawu częstotliwości	Nr grup częstotliwości wchodzących do zestawu
10 DZ	I	Gr.Nr 2 i 13
11 DZ	II	Gr.Nr 3 i 14
12 DZ	III	Gr.Nr 4 i 15
13 DZ	IV	Gr.Nr 2 i 16
14 DPanc	V	Gr.Nr 1 i 11
1 A	VI	Gr.Nr 5, 12, 21

Częstotliwości do poszczególnych grup nie mogą być
planowane w sposób mechaniczny. Przy ich wyznaczaniu należy
uwzględnić następujące uwarunkowania:

- w poszczególnych sieciach radiowych mogą występować
radiostacje dysponujące siatką częstotliwości z

odstępem 25 kHz /R-123, R-113, R-107 i R-111/, jak również radiostacje starszej generacji z odstępem częstotliwości 50 kHz /R-105, R-108 i R-109/. Dlatego też w poszczególnych grupach należy zaplanować obok częstotliwości z odstępem 25 kHz również w odpowiedniej ilości częstotliwości z odstępem co 50 kHz;

- odpowiednio do wyposażenia związków i oddziałów w radiostacje, w poszczególnych grupach należy przewidzieć częstotliwości dla poszczególnych sieci w stosownych zakresach, jakimi dysponują radiostacje, a mianowicie:

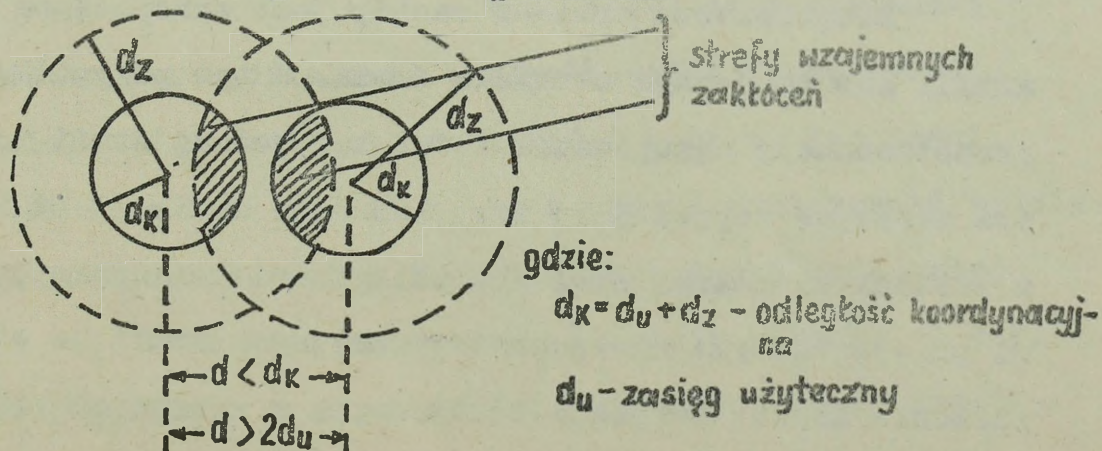
Typ radiostacji	Zakres częstotliwości/MHz/ i ilość fal
R-107 i R-111	20 ÷ 52 /1281/
R-123	20 ÷ 51,5 /1261/
R-113	20 ÷ 22,375 /96/
R-109	21,5 ÷ 28,5 /145/
R-108	28 - 36,5 /171/
R-105	36 - 46,1 /203/

- przy wyznaczaniu częstotliwości do grup należy mieć na uwadze ich wykorzystanie w relacjach radiowych organizowanych za pomocą wozów dowodzenia /PED/. W odniesieniu do tych relacji radiowych w grupach należy planować częstotliwości robocze na podstawie "Tablic częstotliwości wzajemnie niezakłócanych", stosownie do występujących w związkach i oddziałach typów i ilości wozów dowodzenia /PED/;
- należy uwzględniać również inne kryteria omówione w rozdziale III pkt 3 warunkujące kompatybilność elektromagnetyczną łączności radiowej w strefie bliskiej /na przykład

odstępy częstotliwości pomiędzy częstotliwościami wyznaczonymi dla poszczególnych wozów dowodzenia, rozmieszczonych na WŁ w dużym skupieniu/.

Analizy możliwości wyznaczania częstotliwości roboczych do poszczególnych grup z uwzględnieniem przedstawianych wyżej uwarunkowań wskazują, że największy ich niedobór występuje w odniesieniu do relacji radiowych wykorzystujących radiostacje typu R-113/96 fale/ i w mniejszej skali R-105 /203 fale/.

Rozstrzygnięcie tego problemu może być dwojakie. Pierwszy sposób polega na ograniczeniu ilości relacji radiowych /na przykład zamiast stosowania w pułku czółgów 5-ciu sieci kompanijnych za pomocą radiostacji R-113 i sieci dcy pułku za pomocą radiostacji R-112, organizacja dwóch sieci radiowych, w tym jedna UKF - pułku czółgów oraz KF dowódcy pułku z dowódcami kompanii/. Drugi sposób polega na wyznaczaniu częstotliwości na odległościach mniejszych od koordynacyjnych. W tym przypadku należy liczyć się z zakłóceniami wzajemnymi /rysunek Nr 20/ i koniecznością stosowania przez użytkowników przemiennego wykorzystania relacji radiowych, ograniczającymi szybkość obiegu wiadomości. Zmniejszenie odległości między relacjami wykorzystującymi identyczne częstotliwości nie może być dowolne. Odległość między relacjami radiowymi w skrajnych przypadkach nie może być mniejsza od " $d > 2d_u$ " /gdzie d_u - zasięg użyteczny radiostacji/.



Rys.20. Obszar zakłóceń wzajemnych przy stosowaniu odległości między relacjami radiowymi w strefie dalekiej mniejszej od koordynacyjnej.

Zachowanie odległości " $d \geq 2 d_u$ " pomiędzy ZT wykorzystującymi identyczne częstotliwości pracy nie eliminuje wzajemnych zakłóceń jedynie ogranicza obszar niepożądanego oddziaływania wzajemnych zakłóceń. Istota takiego wyboru odległości ma jednak inny sens, który należy rozpatrywać w kategoriach operacyjno - taktycznych. W toku działań zaczepnych największe skupienie wojsk występuje w czasie przełamywania zawczasu przygotowanej rubieży obrony nieprzyjaciela, forsowania dużej przeszkody wodnej, wprowadzenia do bitwy drugich rzutów itp.

W wyniku rozwijania operacji armijnej zazwyczaj związki taktyczne przechodzą do działań na oddzielnych kierunkach, zwiększając odległości pomiędzy sobą.

Zachowanie odległości " $d \geq 2 d_u$ " na określonym etapie działań zaczepnych, warunkuje możliwość /w toku operacji/ zwiększenia się odległości pomiędzy poszczególnymi związkami taktycznymi wykorzystującymi identyczne grupy częstotliwości lub pojedyncze częstotliwości pracy do wielkości $d \geq d_k$, tj. zapewnia się funkcjonowanie łączności po okresie braku kompatybilności /trwającego kilka godzin/ bez wzajemnych zakłóceń.

Najtrudniejsze warunki zapewnienia zewnętrznej kompatybilności elektromagnetycznej /w strefie dalekiej/ występują w okresie wprowadzenia do bitwy armii drugiego rzutu frontu.

Drugorzutowa armia z zasady jest wprowadzona na styku dwóch armii, lub na jednym skrzydle armii. W tym przypadku w obrębie przestrzennego ugrupowania dwóch lub jednej armii rozwijają działania zaczepne odpowiednio trzy lub dwie armie. Jest to równoznaczne z zasadniczą zmianą stosunku odległości koordynacyjnych z parametrami przestrzennymi ugrupowań operacyjnych armii ze względu na zagęszczenie ilości związków taktycznych w wybranych pasach działania

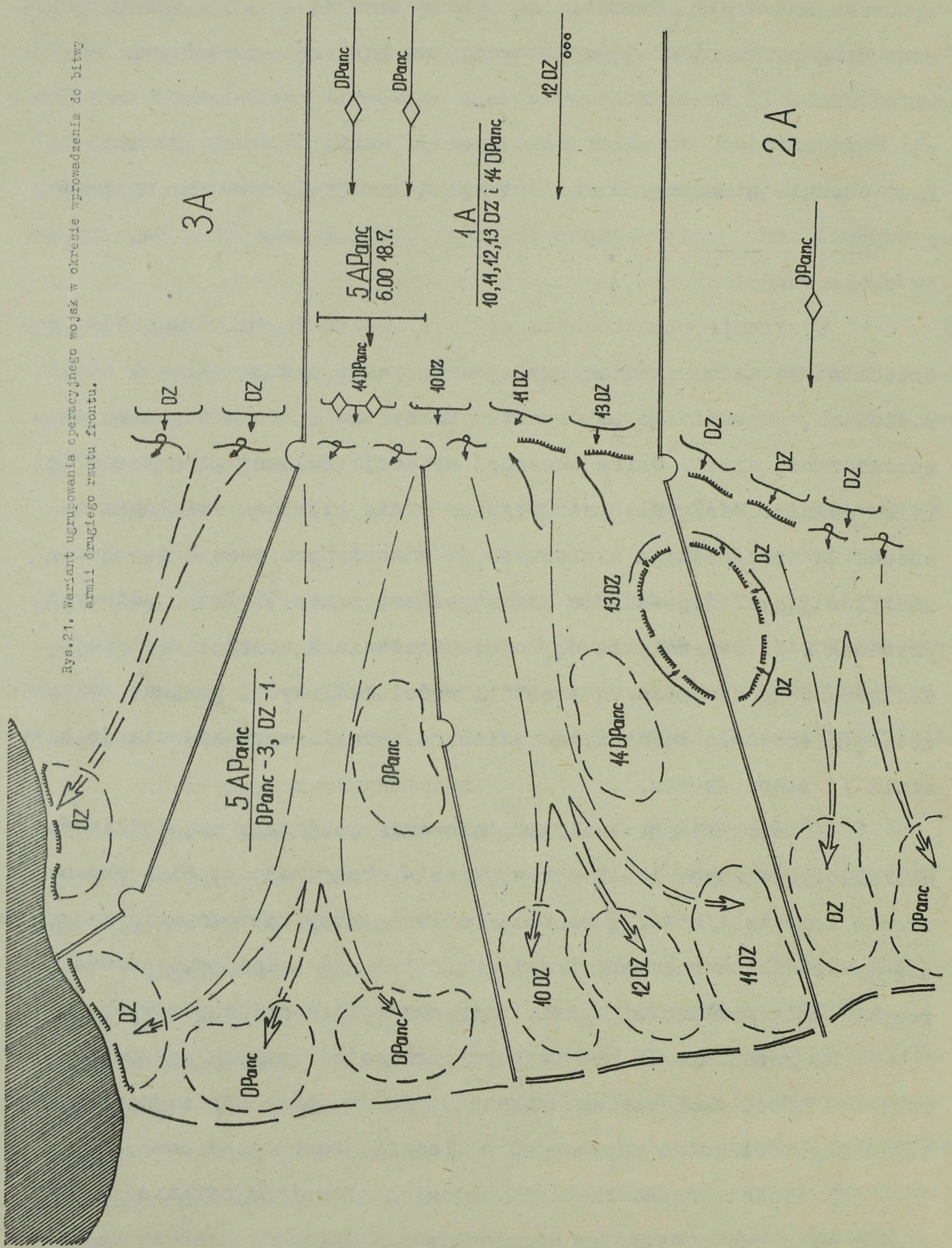
/obok związków taktycznych armii I rzutu zabezpieczających wprowadzenie armii II rzutu, są wprowadzane do walki związki taktyczne drugorzutowej armii/. Zazwyczaj na rubieży wprowadzenia do bitwy armii II rzutu frontu w pasie działania pierwszorzutowej dywizji mogą wchodzić do walki dwie dywizje armii II rzutu frontu. Przy obecnie stosowanych radiostacjach występują znaczne trudności w zapewnieniu kompatybilności pracy łączności w tego rodzaju okolicznościach.

W okresie wprowadzania armii II rzutu do walki zachodzi potrzeba stosowania przemiennego wykorzystania poszczególnych sieci radiowych, zapewniając priorytet wykorzystania środków radiowych wprowadzanej armii. Okres złożonej sytuacji falowej może trwać do kilku godzin. Następnie poszczególne armie prowadzą działania zaczepne na wydzielonych kierunkach /w zmienionych pasach działania/, umożliwiającym zapewnienie kompatybilnej pracy środków radiowych /rysunek 21/. Zapewnienie ciągłości działania łączności radiowej, obligowane wykorzystaniem częstotliwości radiowych, powinno stanowić istotę kierowania łącznością radiową w okresie wprowadzania do bitwy armii II rzutu frontu.

Przeprowadzone analizy planowania rozdziału częstotliwości ultrakrótkofalowych i ich wykorzystanie obejmowały problem zapewnienia kompatybilności łączności radiowej przy zastosowaniu wyłącznie częstotliwości roboczych. W związku z tym, zachodzi konieczność rozpatrzenia możliwości wydzielenia częstotliwości zapasowych.

W rozdziale IV omawiającym możliwości ochrony łączności radiowej przed zakłóceniami wykazano, że zachodzi konieczność wydzielenia częstotliwości zapasowych w ilości, stanowiącej conajmniej 30 ÷ 50% ilości częstotliwości roboczych. Powstaje pytanie, w jaki sposób planować przydziały częstotliwości zapasowych skoro często-

Rys. 21. Wariant ugrupowania operacyjnego wojsk w okresie wprowadzenia do bitwy armii drugiego rzutu frontu.



-tliwości radiowe zostały rozdysponowane do poszczególnych grup i zestawów w charakterze częstotliwości roboczych?

Rozwiązanie tego problemu jest możliwe jedynie w wyniku stosowania już rozdzielonych częstotliwości roboczych w charakterze częstotliwości zapasowych.

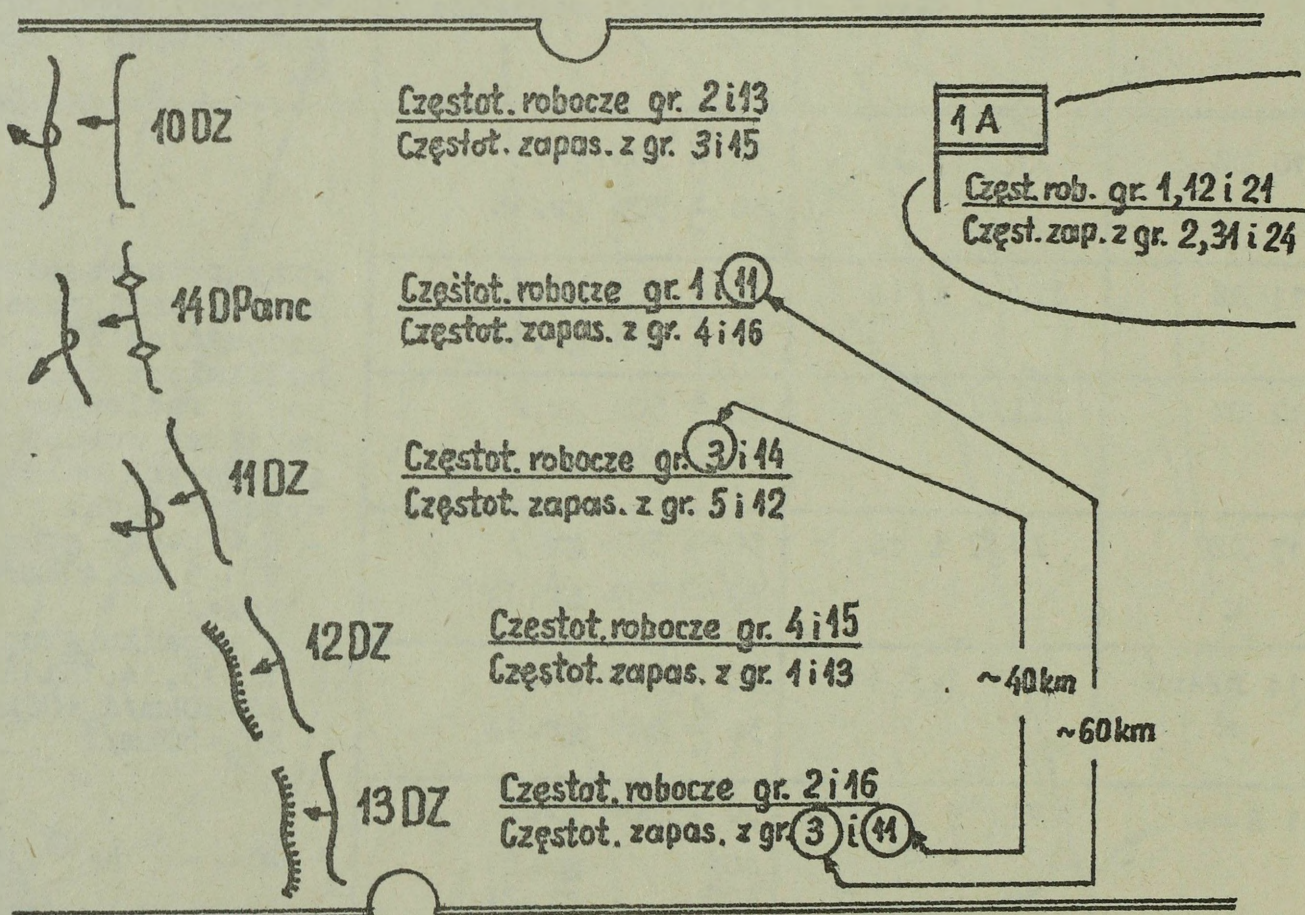
Wariant wyznaczenia częstotliwości zapasowych przedstawia poniższa tabela i rysunek 22.

Przeznaczenie zestawu/związek taktyczny lub operacyjny	Częstotliwości robocze Nr zestawu/Nr grup	Częstotliwości zapasowe	
		Nr grupy z której wydziela się częstotliwości zapasowe	Oceniana odległość występowania częstotliwości zapasowych i roboczych w stosunku do "d _k "
10 DZ	I/ 2 i 13	30 ÷ 50% gr.3 30 ÷ 50% gr.15	Przy równoczesnym wykorzystaniu przez poszczególne ZP i organy armijne częstotliwości radiowych w charakterze roboczych i zapasowych odległości wynosić będą: - w wypadku grup 1,2, 3,4,5 ok. 40km/d _k = 35km/ - w wypadku grup 11, 12,13,14,15i16 ok. 60-80km/d _k = 80km/2d _u = 60km/k.
11 DZ	II/ 3 i 14	30 ÷ 50% gr.5 30 ÷ 50% gr.12	
12 DZ	III/4 i 15	30 ÷ 50% gr.1 30 ÷ 50% gr.13	
13 DZ	IV/2 i 16	30 ÷ 50% gr.3 30 ÷ 50% gr.11	
14 DPanc	V/ 1 i 11	30 ÷ 50% gr.4 30 ÷ 50% gr.16	
1 A	VI/ 5 i 12 i 21	30 - 50% gr.2 40% gr.31 30% gr.24	

Tabela wydzielenia częstotliwości zapasowych /wariant/

Uwagi:

- 1/Częstotliwości wyznaczone jako robocze w określonych ZT i w innych ZT jako zapasowe należy wykorzystywać jako częstotliwości robocze w drugoplanowych sieciach i kierunkach;
- 2/Częstotliwości wyznaczone jako robocze w zestawie armijnym Nr VI oraz grupach Nr 5 i 12 oraz jako zapasowe w ZT należy stosować na szczeblu armii w organach tyłowych;
- 3/Częstotliwości wyznaczone do grupy Nr 31/rezerwa frontowa/ i wykorzystywane jako zapasowe w oddziałach armijnych nie powinny być wykorzystywane w pasie działania armii jako robocze.



Rysunek 22. Wariant wykorzystania grup częstotliwości w charakterze częstotliwości roboczych i zapasowych wraz z oceną odległości.

Planując rozdział częstotliwości w zakresie UKF i ustalając grupy częstotliwości, należy wytypować w nich podgrupy.

Częstotliwości podgrup będą wykorzystywane dwojako:

- w określonych związkach będą stosowane jako częstotliwości robocze;
- w innych związkach będą stosowane jako częstotliwości zapasowe.

Użycie częstotliwości radiowych wytypowanych do podgrup 30 ÷ 50% częstotliwości grupy należy planować w sposób następujący:

- w charakterze częstotliwości roboczych powinny być wyznaczone do pracy w sieciach radiowych o relatywnie niższym natężeniu wymiany radiowej /drugoplanowych/;
- w charakterze częstotliwości zapasowych powinny być wyznaczone do pracy w sieciach radiowych najbardziej zagrożonych pierwszoplanowych, których ochrona przed zakłóceniami warunkuje ciągłość dowodzenia wojskami;
- należy planować użycie częstotliwości podgrup stosownie do ich przeznaczenia /wg.kryterium mocy radiostacji/.

Przedstawione możliwości wydzielenia częstotliwości zapasowych oraz wariant ich wykorzystania wskazują, że warunki zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej w strefie dalekiej na falach zapasowych są gorsze w porównaniu z uzyskiwanymi na częstotliwościach roboczych. Podstawową przyczyną takiego stanu jest zmniejszanie się odległości pomiędzy relacjami radiowymi wykorzystującymi równocześnie fale robocze i zapasowe.

Przykładowe zestawienie odległości pomiędzy relacjami radiowymi wykorzystującymi identyczne częstotliwości przedstawia poniższa tabela:

Typ r/st.	Gr. częstot.	Odległości obliczeniowe		Odległość przy pracy na częstotliwościach roboczych/rys. Nr 19/	Odległość przy równoczesnej pracy na częstotliwościach roboczych i zapasowych/rys. Nr 20/
		d_k	$2d_u$		
R/st.o mocy 1W	1,2,3,4 i 5	35km	24km	- 60km	- 40km
R/st. o mocy 20 ÷ 30W	11,12,13, 14,15 i 16	80km	40-60 km	- 80km	- 60km

Prawdopodobieństwo łączności na falach zapasowych/ciągłość i terminowość/ jest relatywnie niższe w porównaniu z możliwością jego zapewnienia na częstotliwościach roboczych i zależy od entropii^{x/} natężenia wykorzystania środków radiowych w skali armii i całego ugrupowania wojsk.

Biorąc pod uwagę, że efektywność dowodzenia w manewrowych działaniach, szczególnie na szczeblach taktycznych i operacyjno - taktycznych, zależy od ciągłości działania środków radiowych należy dążyć wszystkimi dostępnymi środkami do obezwładnienia sił i środków walki radioelektronicznej nieprzyjaciela.

W toku wykorzystania częstotliwości zapasowych ulega ograniczeniu zakres wykorzystania wozów dowodzenia /powietrznych elementów dowodzenia/. Obecnie stosowane "Tablice częstotliwości wzajemnie niezakłócanych" określają tylko częstotliwości robocze, natomiast nie precyzują sposobów wyznaczenia częstotliwości zapasowych /brak jest w tym względzie zaleceń/. Biorąc pod uwagę deficyt częstotliwości radiowych /zwłaszcza w odniesieniu do R-113, K-1 i R-405/

x/ entropia - miara nieokreśloności

oraz znaczną ilość wozów dowodzenia będących na wyposażeniu wojsk, możliwość planowania zapasowych zestawów częstotliwości jest nie-realna.

Wydaje się również mało prawdopodobne równoczesne zakłócenie selektywne wszystkich relacji radiowych organizowanych za pomocą środków zainstalowanych w wozach dowodzenia. Dla większości wozów dowodzenia mogą być planowane pojedyncze częstotliwości zapasowe, których zastosowanie narusza wewnętrzną kompatybilność łączności radiowej w strefie bliskiej. Oznacza to, że w warunkach zakłóceń środki radiowe wozów dowodzenia /powietrznych elementów dowodzenia/ nie będą mogły być wykorzystane równocześnie, lecz tylko przemienienie /kolejno/. Na tle powyższych rozważań wydaje się celowe rozpatrzenie możliwości opracowania "Tablic częstotliwości", zwłaszcza w odniesieniu do WD modernizowanych lub nowoopracowanych, określających nie tylko częstotliwości robocze, lecz również zawierających wskazania odnośnie stosowania częstotliwości zapasowych.

VI. PLANOWANIE ROZDZIAŁU KRÓTKOFALOWYCH CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWYCH.

W sieciach /kierunkach/ radiowych organizowanych w skali armii wykorzystywane są następujące środki radiowe:

- radiostacje R-112, dysponujące zakresem częstotliwości 2,8 - 4,99 MHz /280 fal roboczych co 10 kHz/. Wchodzą one na wyposażenie wozów dowodzenia i wykorzystują anteny prętowe. Za pomocą rst. R-112 łączność jest organizowana przy zastosowaniu fali powierzchniowej;
- radiostacje R-104M, dysponujące zakresem częstotliwości 1,5 ÷ 4,25 /275 fal roboczych co 10 kHz/, przeznaczone do pracy falą powierzchniową i jonosferyczną;
- radiostacje R-130, dysponujące zakresem częstotliwości 1,5 ÷ 10,99 MHz /950 fal roboczych co 10 kHz/. Do współpracy z radiostacją R-130 na wozach dowodzenia są zainstalowane anteny prętowe, pionowego promieniowania/quasi-magnetyczna/ do pracy w ruchu oraz dipol symetryczny. Za pomocą tych typów anten można organizować łączność przy wykorzystaniu fali powierzchniowej i jonosferycznej. Podstawową zaletą tej radiostacji jest możliwość zapewnienia łączności w ruchu /za pomocą anteny pionowego promieniowania/ na falach jonosferycznych na odległość do 100 - 200 km z wykorzystaniem jednowstęgowej modulacji amplitudy, umożliwiającej utajnianie automatyczne radiofonicznego kanału krótkofalowego;
- radiostacje typu R-118, dysponujące zakresem częstotliwości 1 ÷ 7,5 MHz /6501 fal roboczych przy ~~manipulacji~~ modulacji amplitudy co 1 kHz oraz 2875 fal roboczych przy manipulacji częstotliwości co 1,2 i 4 kHz w zależności od wykorzystywanego zakresu częstotliwości.

Do organizacji łączności mogą być wykorzystywane następujące odmiany radiostacji typu R-118:

- 1/ R-118 BMZ - przeznaczona do pracy za pomocą fali powierzchniowej w ruchu /do 30 km/ i na postoju oraz fali jonosferycznej wyłącznie na postoju;
- 2/ R-118K wyposażona w małogabarytową antenę pionowego promieniowania do pracy w ruchu za pomocą fali jonosferycznej na odległość do 150 ÷ 200 km;
- 3/ R-118R przeznaczona do współpracy z radiostacjami R-350M, w wojskach rozpoznawczych oraz desantowych, przystosowana do pracy za pomocą urządzeń szybkiej telegrafii i wykorzystywane do łączności na falach jonosferycznych.

- radiostacja R-140, dysponująca zakresem częstotliwości 1,5 ÷ 30 MHz /285 tysięcy fal roboczych z odstępem co 100 Hz/. Podstawowymi zaletami tej radiostacji są:

- 1/ duży zasięg łączności w ruchu wynoszący 200 ÷ 300km przy wykorzystaniu małogabarytowej anteny pionowego promieniowania do pracy falą jonosferyczną;
- 2/ 10 zawczasu przygotowanych częstotliwości przełączanych w ciągu ok. 30 sekund;
- 3/ zastosowanie modulacji jednowstęgowej, umożliwiającej stosowanie automatycznego utajniania radiofonicznych kanałów krótkofalowych.

Za pomocą wymienionych typów radiostacji krótkofalowa łączność radiowa jest organizowana za pomocą fali powierzchniowej, lub jonosferycznej i powierzchniowej. Przyporządkowanie poszczególnych sieci radiowych do wyżej wymienionych dwóch typów propagacji fal wynika z następujących przesłanek:

- zapewnienia optymalnych warunków pracy relacji radiowych, wykorzystujących falę jonosferyczną poprzez ograniczenie ilości tego typu relacji;
- racjonalność stosowania na małych odległościach fali powierzchniowej ze względu na możliwości zapewnienia bardziej stabilnej łączności w porównaniu z uzyskiwaną na falach jonosferycznych;
- możliwości stosowania wyłącznie fali powierzchniowej/np. na radiostacjach R-112/.

W armii o typowym składzie /5 dywizji/ może być zorganizowanych na falach krótkich około 200 relacji radiowych, w tym:

- 90 relacji, wykorzystujących wyłącznie falę powierzchniową;
- 110 relacji, wykorzystujących falę jonosferyczną lub powierzchniową.

Zestawienie krótkofalowych relacji radiowych organizowanych w skali armii przedstawia tabela:

Szczebel organizacyjny	DZ	DZ-4	DPanc	armia oraz oddziały i związki armijne	Łączne potrzeby
Rodzaj stosowanych fal					
Relacje radiowe KF wykorzystujące falę powierzchniową	10	40	10	40	90
Relacje radiowe KF wykorzystujące falę jonosferyczną lub powierzchniową	10	40	10	60	110
Łącznie	20	80	20	100	200

W rozdziale III zostało wykazane, że ustalenie odległości koordynacyjnych dla krótkofalowych relacji radiowych jest sprawą wysoce złożoną i niemożliwą do praktycznego stosowania w wysoce zwariantowanym zastosowaniu łączności radiowej w działaniach bojowych. Zapewnienie kompatybilności krótkofalowych relacji radiowych jest osiągalne w wyniku stosowania koordynacji czasowej w wypadkach wykorzystania identycznych częstotliwości radiowych w strefie dalekiej/na obecnym etapie metodami organizacyjnymi i w perspektywie poprzez stosowanie samoadaptacyjnych linii radiowych/.

W związku z tym, możliwość zaspokojenia potrzeb krótkofalowych częstotliwości radiowych w skali armii zostanie rozpatrzona w wyniku oceny zajętości krótkofalowego pasma częstotliwości radiowych przez armijne relacje radiowe.

Do pracy falą powierzchniową, jak zostało wykazane w rozdziale II, najbardziej przydatne są najniższe częstotliwości radiowe /najdłuższe fale radiowe/. Na wyższych częstotliwościach zasięg łączności przy wykorzystaniu fali przyziemnej ulega znacznemu ograniczeniu, ponieważ niewspółmiernie wzrasta tłumienie natężenia pola elektromagnetycznego. Największe zasięgi uzyskuje się w przedziale częstotliwości $1 \div 3$ MHz i w miarę użyteczne zasięgi można uzyskać na częstotliwościach do 5 MHz /rst.R-112 wykorzystuje pasmo $2,88 \div 4,99$ MHz/.

Stosując pasmo częstotliwości $1 \div 5$ MHz do pracy za pomocą fali przyziemnej należy mieć jednak na uwadze następujące okoliczności:

- oddziaływanie radiofonii średniofalowej w zakresie $1 - 1,6$ MHz na pracę armijnych relacji radiowych,

szczególnie w godzinach nocnych^{x/}

- wykorzystanie do pracy falą przyziemną pasma częstotliwości $2,5 \div 5$ MHz ogranicza możliwości wykorzystania w nocy i częściowo w dzień tych częstotliwości do pracy za pomocą fal jonosferycznych na małych odległościach - do 200 km.

Reasumując do pracy relacji radiowych wykorzystujących falę przyziemną można zająć łącznie w zakresie częstotliwości $1 \div 5$ MHz pasmo o łącznej szerokości $2 \div 2,5$ MHz, rezerwując pozostałą część zakresu do pracy relacji radiowych za pomocą fali jonosferycznej.

Do pracy falą powierzchniową będą stosowane przede wszystkim radiostacje starszej generacji typu R-118, R-104 i R-112. Podstawowym rodzajem emisji w omawianych relacjach jest dwuwstęgowa praca fonem A_3 - szerokość pasma emisji 6 kHz/ i tylko nieznaczny procent /około 10%/ sieci /kierunków/ radiowych będzie stosować pracę telegraficzną A_1 - manipulacja amplitudy - szerokość pasma emisji 200 Hz, lub F_1 - manipulacja częstotliwości - szerokość pasma emisji 1 kHz/.

Szerokość zajmowanego pasma częstotliwości przez armijne sieci i kierunki radiowe można ocenić ze wzoru:

x/ W dzień wskutek dużego tłumienia fal odbitych przez warstwę "D" w zakresie częstotliwości średniofalowych zakłócenia mogą pochodzić wyłącznie od lokalnych nadajników radiofonii średniofalowej /położonych w promieniu 200km/. W nocy warstwa "D" zanika i fale odbite w zakresie częstotliwości średniofalowych dochodzą nie-tłumione z dużych odległości, ograniczając efektywność pracy radiostacji wojskowych. /Zjawisko to można zaobserwować w odbiorniku radiofonicznym w ten sposób, że w dzień można odbierać tylko lokalne stacje radiofoniczne, natomiast w nocy dużą ilość stacji odległych/.

$$\Delta f = N(\Delta F_{A3} \cdot p_1 + \Delta F_{F1} \cdot p_2)$$

- gdzie:
- Δf - szerokość pasma emisji zajmowanego przez wszystkie sieci/kierunki/ radiowe armii;
 - N - ilość relacji radiowych / $N=90$ /;
 - ΔF_{A3} - szerokość pasma emisji przy dwuwstęgowej modulacji amplitudy - A_3
/ $F_{A3} = 6$ kHz/;
 - p_1 - procent relacji pracujących emisją A_3
/dla 90% relacji $p_1 = 0,9$ /;
 - ΔF_{F1} - szerokość pasma emisji przy manipulacji częstotliwości / $F_{F1} = 1$ kHz/;
 - p_2 - procent relacji pracujących emisją F_1
/dla 10% relacji $p_2 = 0,1$ /.

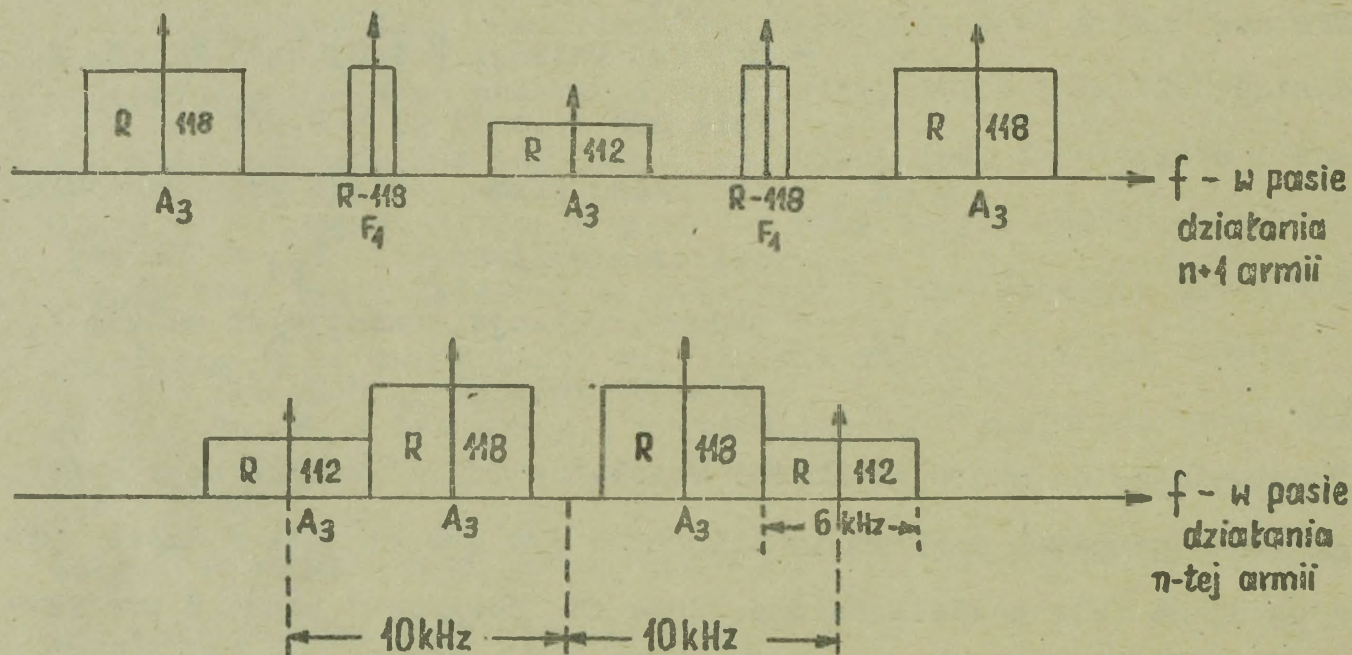
Podstawiając do wzoru wielkości absolutne można ustalić szerokość zajmowanego pasma częstotliwości przez armijne relacje radiowe wykorzystujące fale powierzchniowe. Może ono obejmować pasmo o szerokości 0,5 MHz:

$$\Delta f = 90 / 6 \text{ kHz} \cdot 0,9 + 1 \text{ kHz} \cdot 0,1 / \approx 0,5 \text{ MHz}.$$

Jeśli uwzględnić potrzebę wydzielenia częstotliwości zapasowych w granicach 30 - 50% częstotliwości roboczych /30 ÷ 45 częstotliwości zapasowych/, łącznie relacje radiowe armii zajmą pasmo o szerokości 0,7 MHz, tj. trzecią część pasma zarezerwowanego w skali ugrupowania wojsk do pracy za pomocą fali powierzchniowej /2 ÷ 2,5 MHz/. Jest to maksymalna ilość częstotliwości jaką może być przydzielona armii w najbardziej użytecznym paśmie częstotliwości do pracy środków radiowych biorąc pod uwagę, że w składzie frontu mogą prowadzić

działania 3 - 4 armie ogólnowojskowe, armia pancerna i lotnicza.

Przy ocenie szerokości zajmowanego pasma częstotliwości przez armijne relacje radiowe stosujące fale powierzchniowe przyjęto założenie, że poszczególne relacje wykorzystują przylegające do siebie pasma emisji, a nawet częściowo nakładające się i odpowiednio zbliżone częstotliwości nośne, niezależnie od możliwości determinowanych dyspozycyjnością siatki częstotliwości poszczególnych radiostacji /odstępów fal nośnych co 1, 2, 4 i 10 kHz/.



Rysunek 23. Wariant wyznaczania częstotliwości w zakresie krótkofalowym,

Na rysunku 23 przedstawiono wariant wyznaczania częstotliwości radiowych przy wykorzystaniu radiostacji typu R-112 i R-118 do pracy emisją A_3 , którego celem jest maksymalne wykorzystanie pasma częstotliwości. Niewykorzystane przedziały częstotliwości radiostacji R-112 w pasie działania jednej armii są stosowane w innej armii do łączności za pomocą radiostacji R-118. Niedostateczne zagęszczenie siatki częstotliwości radiostacji R-112 /co 10kHz/

jest kompensowane możliwościami dowolnego wyznaczenia odstępów częstotliwości /co 1 kHz/ przy stosowaniu radiostacji R-118.

Do pracy falą jonosferyczną nadają się częstotliwości radiowe ze ściśle ograniczonego pasma fal radiowych /zagadnienie powyższe omówiono w rozdziale II punkt 4/.

Dla tras łączności stosowanych w skali armii o długościach nie przekraczających odległości 150 ÷ 200 km szerokość pasma częstotliwości do pracy falą jonosferyczną, wyznaczonego częstotliwościami LUF i FOT, może wahać się w granicach:

- w dzień od 2 do 3 MHz;
- w nocy od 1,5 do 2,5 MHz.

Na podstawie tych danych można stwierdzić, że istnieje większe prawdopodobieństwo zapewnienia łączności radiowej w skali ugrupowania wojsk w dzień /szersze pasmo częstotliwości/, jak w nocy /relatywnie wąskie pasmo/^{x/}. Z tych ustaleń nasuwa się też wnioski, że w godzinach nocnych należy dążyć do zapewnienia łączności na zasadniczych kierunkach dowodzenia i współdziałania za pomocą innych środków łączności /radioliniowych, przewodowych i WPP/.

Wykorzystanie innych środków łączności w godzinach nocnych jest tym bardziej możliwe, że z zasady działania bojowe tracą manewrowy charakter i są prowadzone w ograniczonej skali. Częściowa stabilizacja działań bojowych wojsk i rozmieszczenie punktów dowodzenia stwarza dogodne warunki do prowadzenia rozpoznania radioelektronicznego przez nieprzyjaciela. Dlatego również z tego powodu należy ograniczać wymianę radiową w godzinach nocnych, zachowując

x/ Ponadto w nocy ze względu na zanik warstwy "D" zmniejsza się tłumienie fal jonosferycznych i wzrastają wzajemne zakłócenia relacji radiowych.

jednak jej pełną gotowość do podjęcia pracy. Należy równocześnie w godzinach nocnych zapewnić optymalne warunki /w wyniku doboru częstotliwości pracy/ wykorzystania sieci /kierunków/ radiowych organów rozpoznawczych, wojsk OPL, wojsk rakietowych i współdziałania z lotnictwem.

Średnio szerokość pasma częstotliwości do pracy na falach jonosferycznych pomiędzy LUF i FOT dla odległości do 200 km i radiostacji średniej mocy może wahać się w granicach $2 \div 2,5$ MHz.

Uwzględniając częściową zajętość pasma częstotliwości przewidzianego do pracy falą jonosferyczną przez relacje radiowe stosujące fale przyziemne /R-112/ można przyjąć, że do rozdziału częstotliwości pozostanie pasmo o szerokości około 2 MHz.

Do przeprowadzenia ocen możliwości wyznaczenia krótkofalowych częstotliwości do pracy za pomocą fali jonosferycznej przyjęto, że w ramach 110 relacji armijnych pracują:

- 60% relacji radiowych, wykorzystujących radiostacji R-118 oraz emisję dwuwstęgową do pracy fonicznej /typu A_3 o szerokości pasma emisji 6 kHz/ tzn. $p_1 = 0,6$ i $\Delta F_{A_3} = 6$ kHz;
- 30% relacji radiowych, wykorzystujących radiostacje R-140 i R-130 oraz emisję jednowstęgową do pracy fonicznej /typu A_3J o szerokości pasma emisji 4 kHz/, tzn. $p_2 = 0,3$ i $\Delta F_{A_3J} = 4$ kHz;
- 10% relacji radiowych, stosujących wyłącznie pracę telegraficzną /emisji typu A_1 i F_1 /, tzn. $p_3 = 0,1$ i $\Delta F_{F_1} = 1$ kHz.

Szerokość zajmowanego pasma częstotliwości przez 110 armijnych relacji radiowych, wykorzystujących fale jonosferyczne wyniesie ponad 0,5 MHz:

$$\Delta f = 110 / 6_{\text{kHz}} \cdot 0,6 + 4 \text{ kHz} \cdot 0,3 + 1 \text{ kHz} \cdot 0,1 / = 0,54 \text{ MHz}$$

Jeśli uwzględnić potrzebę wydzielenia częstotliwości zapasowych w granicach 30% częstotliwości roboczych /około 35 częstotliwości/, łącznie armijne relacje radiowe zajmą pasmo o szerokości 0,75 MHz, tj. 1/3 pasma przeznaczonego do pracy środków radiowych za pomocą fali jonosferycznej w pasie działania frontu.

Biorąc pod uwagę potrzeby innych armii i frontu, należy uśnać przedstawioną wielkość zajętości częstotliwości radiowych przez środki radiowe armii za maksymalną.

Planując w skali armii rozdział częstotliwości krótkofalowych do pracy falą powierzchniową i jonosferyczną i ustalając grupy częstotliwości przydzielane poszczególnym związkom taktycznym armii i wykorzystywane na szczeblu armii, należy typować poszczególne częstotliwości mając na uwadze konieczność spełnienia następujących wymogów warunkujących zapewnienie wewnętrznej kompatybilności relacji radiowych w strefie bliskiej /na węzłach łączności, w WD i PED-2/

- 1/ wyznaczenie określonych częstotliwości stosownie do ilości wykorzystywanych WD i PED-2/ na podstawie "Tablic częstotliwości wzajemnie niezakłócanych".
- 2/ Zachowanie następujących odstępów pomiędzy częstotliwościami przeznaczonymi do stosowania w ramach węzłów łączności:
 - w odniesieniu do relacji pracujących za pomocą środków KF małej mocy/w tym zainstalowanymi na poszczególnych WD/ - 100 kHz;
 - w odniesieniu do relacji pracujących za pomocą radiostacji KF średniej mocy /rozwijanymi bezpośrednio przy węzłach łączności np. pracującymi za pomocą urządzeń wynośnych/ 200 ÷ 300 kHz;

- w odniesieniu do relacji pracujących za pomocą środków radiowych KF w układzie centrum odbiorcze - centrum nadawcze - $16 \div 20$ kHz.

Ponadto w celu zwiększenia ciągłości działania krótkofalowej łączności radiowej organizowanej za pomocą radiostacji typu R-118, a zwłaszcza R-140, celowe jest wyznaczanie pomocniczych częstotliwości manewru /subfal/ oprócz częstotliwości roboczych /zapasowych/, a w perspektywie stosowanie samoadaptacyjnych linii radiowych /uzasadnienia tej tezy dokonano w rozdziale III punkt 2/.

VII. ZWIEKSZENIE EFEKTYWNOŚCI ŁACZNOŚCI RADIOWEJ W WYNIKU
DOSKONALENIA GOSPODARKI FALOWEJ.

Rola łączności organizowanej na poszczególnych szczeblach dowodzenia jest różna:

- na szczeblach taktycznych w manewrowych działaniach środki radiowe spełniają rolę podstawowego środka łączności;
- na szczeblach operacyjnych rola środków radiowych jest w zasadzie drugoplanowa, jakkolwiek w określonych sytuacjach i zastosowaniach mogą stanowić jedyny środek łączności na przykład: łączność z desantem, grupami dywersyjnymi i rozpoznawczymi, przez teren niedostępny /deformacja terenu, skażenia/, w okresie odtwarzania gotowości bojowej wojsk oraz systemu dowodzenia i łączności /na równi ze środkami wojskowej poczty polowej/, a także w relacjach radiodifuzyjnych /sieci powiadamiania, ostrzegania i alarmowania/.

Efektywność łączności radiowej jest determinowana szeregiem czynników:

- wyszkoleniem załóg radiostacji i wozów dowodzenia, zwłaszcza pod względem przygotowania do pracy w warunkach zakłóceń celowych;
- sprawnością techniczną sprzętu i jego nowoczesnością;
- przygotowaniem osób funkcyjnych w zakresie przekazywania wiadomości za pomocą środków radiowych itp.

Należy jednak uznać, że podstawowym warunkiem zapewnienia łączności radiowej jest właściwe wykorzystanie możliwości propagacyjnych fal realizowanych w oparciu o długoterminowe i miesięczne prognozy jonosferyczne oraz oceny wyników bieżącego sondowania

jonosfery, a także poprawnie zaplanowany rozdział częstotliwości, uwzględniający całą gamę złożoności zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej.

W pełni merytoryczne planowanie rozdziału częstotliwości radiowych może być zrealizowane wyłącznie poprzez przygotowanie wielowariantowych algorytmów /dostosowanych do różnorodnych sposobów wykorzystania wojsk na współczesnym polu walki/ i wykorzystania elektronicznych maszyn cyfrowych.

Jednak uzyskanie pożądaných wyników w planowaniu przydziałów częstotliwości za pomocą elektronicznej techniki obliczeniowej wiąże się z koniecznością wprowadzenia limitów ilości relacji radiowych stosowanych na poszczególnych szczeblach dowodzenia, uwzględniających realia techniczno - eksploatacyjne. Projektowanie /planowanie/ rozwoju systemów łączności /organizacji łączności/ powinno objąć badania, określające dopuszczalną ilość relacji radiowych organizowanych na polu walki.

Ustalanie ilości sieci i kierunków radiowych nie może być jednostronne i dyktowane wyłącznie względami taktyczno - operacyjnymi w zakresie organizacji dowodzenia, współdziałania i kierowania tyłami, lecz powinno obejmować całokształt czynników warunkujących poprawną pracę łączności radiowej.

Przeprowadzone w niniejszym opracowaniu analizy pozwalają dokonać oceny ilości relacji radiowych organizowanych w skali armii z punktu widzenia kryteriów techniczno - eksploatacyjnych, mogących stanowić podstawę do planowania perspektywicznych systemów łączności odpowiednio w krótkofalowym i ultrakrótkofalowym zakresie częstotliwości.

Ponadto w ocenach uwzględnia się wyniki obserwacji wykorzystania łączności radiowej w różnych ćwiczeniach.

1. Ocena techniczno - eksploatacyjna dopuszczalnej ilości krótkofalowych relacji radiowych organizowanych w armii.

W celu ustalenia dopuszczalnej ilości krótkofalowych relacji radiowych z punktu widzenia możliwości techniczno - eksploatacyjnych, należy przeanalizować następujące parametry wyjściowe:

- szerokość pasma częstotliwości wykorzystywanego do organizacji łączności;
- parametry środków radiowych wykorzystywanych w systemie łączności armii;
- ilość częstotliwości zapasowych, niezbędnych do zapewnienia ochrony łączności radiowej przed zakłóceniami celowymi/selektywnymi/ oraz zakłóceniami wzajemnymi pochodzącymi od środków łączności wojsk własnych /np. sąsiedniego frontu/, nieprzyjaciela oraz cywilnych /np. stacji radiofonicznych/;
- stopień jednoczesności wykorzystania armijnych relacji radiowych do przekazywania wiadomości.

Przegląd prognoz jonosferycznych w skali 11-letniego cyklu aktywności słonecznej oraz rocznych, pozwala ustalić średnią wartość najwyższych wartości optymalnych częstotliwości pracy /FOT/ stosowanych w skali armii do zapewnienia łączności radiowej za pomocą fali jonosferycznej na odległości dochodzące do 200 km.

Biorąc pod uwagę, że łączność radiowa jest najintensywniej wykorzystywana w godzinach dziennych /maksymalna aktywność i manewrowość prowadzonych działań bojowych/ średnie wartości optymalnych częstotliwości pracy /FOT/ należy odnieść do warunków dziennych.

Oceny prognoz pozwalają ustalić średnią wartość dziennych

FOT - może ona wynosić $5 \div 6,5$ MHz. Dolna granica stosowanych częstotliwości w skali armii wyznaczona parametrami radiostacji KF i może wynosić 1 lub 1,5 MHz. Oznacza to, że w skali frontu może być wykorzystane przez relacje radiowe pracujące falą powierzchniową i jonosferyczną na odległość do 200 km pasmo o szerokości $4 \div 5$ MHz, tj. około 4,5 MHz. Uwzględniając w składzie frontu cztery armie ogólnowojskowe /jedna pancerna/, armię lotniczą oraz frontowe związki i oddziały, do dyspozycji armii może być wydzielone $1/5$ pasma częstotliwości o szerokości: $\Delta f_A = 0,9$ MHz.

W najbliższych latach w armii mogą być wykorzystane radiostacje o różnych parametrach w następujących proporcjach:

- radiostacje jednowstęgowe - około 60% środków, w tym 20-30% wyposażonych w samoadaptacyjne linie radiowe, tj:

$$p_1 = 0,4 \text{ i } p_2 = 0,2 \text{ oraz } \Delta f_{A33} = 0,4 \text{ kHz;}$$

- radiostacje dwuwstęgowe - około 40% środków tj:

$$p_3 = 0,4 \text{ i } \Delta f_{A3} = 6 \text{ kHz.}$$

Należy ponadto zarezerwować pasmo częstotliwości przeznaczone do manewru falami w celu ochrony łączności przed zakłóceniami celowymi i wzajemnymi. Biorąc pod uwagę, że 20% relacji radiowych wyposażonych w samoadaptacyjne linie radiowe zapewnią automatyzację przejścia na częstotliwości nie wykorzystane w danym okresie czasu/brak wymiany/, można ograniczyć się rezerwacją pasma częstotliwości wynoszącą 20% pasma użytkowego, tj. $\Delta f_{rez.} = 0,2 \Delta f_A =$
 $= 0,2 \cdot 0,9 \text{ MHz} = 0,18 \text{ MHz.}^x/$

x/ Samoadaptacyjne linie radiowe umożliwiają automatyczne wykorzystanie częstotliwości wytypowanych do pracy w innych sieciach radiowych o ile w danym okresie czasu nie jest prowadzona w nich wymiana wiadomości.

Oceniając uwarunkowania techniczno - eksploatacyjne, w armii przy podanych warunkach dopuszczalne jest organizowanie 150 relacji radiowych krótkofalowych przeznaczonych do pracy falą powierzchniową i jonosferyczną:

$$N = \frac{\Delta f_A - \Delta f_R}{(P_1 + P_2) \Delta F_{A3} + P_3 \cdot \Delta F_{A3}} = \frac{900 \text{ kHz} - 130 \text{ kHz}}{(0,4 + 0,2) 4 \text{ kHz} + 0,4 \cdot 6 \text{ kHz}} = 150$$

Podaną wielkość 150 relacji radiowych KF organizowanych w skali armii należy traktować jako szacunkowy normatyw ilościowy. Przekroczenie ilości normatywnej obniżyć będzie efektywność krótkofalowej łączności radiowej /zwłaszcza pod względem zapewnienia terminowości obiegu wiadomości/.

2. Ocena możliwości techniczno - eksploatacyjnych organizacji łączności ultrakrótkofalowej za pomocą stosowanych radiostacji małej mocy i perspektywicznych.

Najtrudniejsze warunki wykorzystania częstotliwości radiowych i zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej występują w okresie wprowadzania armii drugiego rzutu frontu w pasie działania armii pierwszego rzutu /rysunek 21/. W podanej sytuacji operacyjnej odległości koordynacyjne pomiędzy relacjami radiowymi występują w dużej dysproporcji w stosunku do parametrów przestrzennych ugrupowań armijnych. Sytuacja ta stanowi kryterium wykorzystania środków radiowych z punktu widzenia zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej w strefie dalekiej. Rozwiązanie tego problemu może być zrealizowane w wyniku wprowadzenia na wyposażenie wojska perspektywicznych radiostacji UKF. Powstaje pytanie w jakich przedziałach procentowych można zachować na wyposażeniu wojsk radiostacje UKF z siatką częstotliwości co 25 kHz /50 kHz/ oraz w jakiej skali zachodzi potrzeba wdrożenia do wojsk perspektywicznych radiostacji z siatką częstotliwości co 1 kHz z nowymi zakresami częstotliwości?

W rozdziale V zostało ustalone, że potrzeby częstotliwości radiowych w skali armii wynoszą ok. 1100 ÷ 1200 fal, przy czym przy zastosowaniu radiostacji UKF z siatką częstotliwości co 25kHz /50 kHz/ wykorzystywane są następujące typy relacji radiowych:

- około 35% relacji radiowych wykorzystuje propagację fal powierzchniowych i radiostacje o mocy $1W/p_1=0,35/$;
- około 55% relacji radiowych wykorzystuje propagację fal powierzchniowych i radiostacje o mocy 20 - 30W/ $p_2=0,55/$;
- około 10% relacji radiowych wykorzystuje propagację fal przyziemnych typu ogólnego oraz radiostacje o mocy 75W / $p_3= 0,1/$.

Za pomocą radiostacji UKF z siatką częstotliwości co 25 kHz 1281 częstotliwości roboczych można wydzielić następującą ilość częstotliwości dla poszczególnych armii, działających w jednym pasie /I i II - rzutowa/:

Zestaw	Ilość wydzielonych częstotliwości do zestawu $n=1281 \cdot p$	Możliwość powtórzenia częstotliwości w armiach działających w jednym pasie	Ilość zestawów dla dwóch armii z uwzględnieniem częstotliwości zapasowych i odległości koordynacyjnych	Możliwa ilość wydzielonych częstotliwości roboczych dla jednej armii	Ilość relacji radiowych organizowanych w jednej armii
p_1	$n_1 = 1281 \cdot p_1 = 1281 \cdot 0,35 = 448$	w nieznaczonej skali $/d_k = 35 \text{ km}/$	2,2	$l_1 = \frac{n_1}{2,2} = \frac{448}{2,2} = 203$	200 ÷ 210
p_2	$n_2 = 1281 \cdot p_2 = 1281 \cdot 0,55 = 704$	brak możliwości $/d_k = 80 \text{ km}/$	2,4	$l_2 = \frac{n_2}{2,4} = \frac{704}{2,4} = 293$	290 ÷ 300
p_3	$n_3 = 1281 \cdot p_3 = 1281 \cdot 0,1 = 129$	brak możliwości nie tylko w dwóch armiach ale również w sąsiednich $/d_k = 170 \text{ km}/$	8	$l_3 = \frac{n_3}{8} = \frac{129}{8} = 16$	15 ÷ 20
Łącznie					505 ÷ 530

Uwzględniając, że w jednej armii organizowanych jest ponad 1100 relacji radiowych UKF, za pomocą radiostacji UKF z siatką częstotliwości co 25 kHz można zorganizować w omawianej sytuacji operacyjnej kompatybilną łączność radiową tylko w około 500 relacjach. Na tej podstawie można wnioskować w jakiej skali jest

niezbędne przebrojenie wojsk armii w radiostacje nowego typu. Powinno ono obejmować 50 - 60 % relacji radiowych organizowanych w skali armii.

Za pomocą radiostacji UKF nowego typu, z siatką częstotliwości co 1 kHz w zakresie 30 - 76 MHz, przy równoczesnym wykorzystaniu radiostacji i stacji radioliniowych obecnego parku, można planować wykorzystanie ponad 2700 częstotliwości radiowych tj:

- w zakresie 30 ÷ 52 MHz/pasmo wspólnie użytkowane przez radiostacje nowego parku i obecnie stosowane/ponad 800 częstotliwości, planowanych pomiędzy odstępami co 25 kHz;
- w zakresie 52 - 70 MHz /pasmo wykorzystywane wyłącznie przez r/stacje nowego parku/przy planowaniu częstotliwości co 10 kHz/szerokość pasma emisji F_3 -10 kHz/- 1800 częstotliwości;
- w zakresie 70 - 76 MHz/pasmo wykorzystywane przez radiostacje nowego parku i starsze radioliniowe R-405 i R-409/ - około 100 częstotliwości.

Oznacza to, że za pomocą tej ilości fal można dokonać kompatybilnego przydziału częstotliwości radiowych dla 600 relacji radiowych w trzech armiach /po 900 częstotliwości tj. 600 roboczych i 300 zapasowych/, działających na głównym kierunku uderzenia frontu.

Zwiększenie efektywności ultrakrótkofalowej łączności radiowej z punktu widzenia zapewnienia kompatybilnego rozdziału częstotliwości radiowych można osiągnąć w wyniku dokonania zmian w wyposażeniu wojsk w radiostacje, polegających na wdrożeniu około 50-60% nowych typów radiostacji i zachowaniu w granicach 40 ÷ 50% radiostacji obecnego parku, wycofując z wojsk przede wszystkim radiostacje starszej generacji /E-113, R-105, R-108 i R-109/.

Wydrukowano w 50 egz.

Egz.nr 1-50 Bibl.Nauk OZS

Wyk.Zespół Oficerów

Druk E.B. dn.15.3.80 r.

Druk ASG WP nr pf 608/WW

S P I S T R E Ś C I

	str.
I. Wstęp	2
II. Właściwości propagacji fal radiowych	4
1. Fala powierzchniowa	11
2. Fala przestrzenna	15
3. Fala typu ogólnego	16
4. Fala jonosferyczna	18
5. Fala troposferyczna	28
III. Zasady wyznaczania częstotliwości radiowych z punktu widzenia zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej	31
1. Sposób oceny odległości koordynacyjnych	35
2. Zasady stosowania koordynacji czasowej wykorzystanie częstotliwości radiowych	43
3. Zasady zapewnienia kompatybilności pracy środków radiowych w strefie bliskiej - wyznaczenie odstępów częstotliwościowych	53
IV. Ocena możliwości ochrony łączności radiowej przed zakłóceniami celowymi nieprzyjaciela w wyniku stosowania manewru częstotliwościami radiowymi	57
V. Planowanie rozdziału ultrakrótkofalowych częstotliwości radiowych w armii	62
VI. Planowanie rozdziału krótkofalowych częstotliwości radiowych	82
VII. Zwiększenie efektywności łączności radiowej w wyniku doskonalenia gospodarki falowej	93

