AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. generała broni K. Świerczewskiego

KATEDRA Nr 23

29

Kmdr por. Jerzy NOWAK

Temat: RADIOLOKACJA I JEJ ZASTOSOWANIA W METEOROLOGII

(Skrypt)

Biblioteka Szkoły ... Sztabu Generalnego
Nr ewid. 584

BIBLIOTEKA GŁÓWNA ... Zbiorów Niejawnych - Akademii
Nr ewid. 4198

WARSZAWA WRZESIEŃ 1966

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. generała broni K. Świerczewskiego

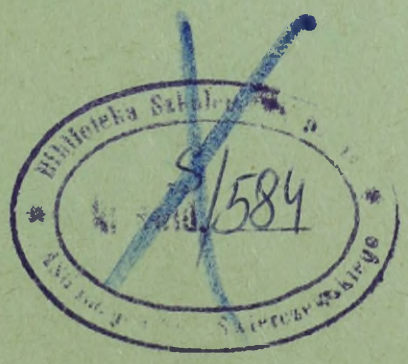
KATEDRA Nr 23

29

Kmdr por. Jerzy NOWAK

Temat: RADIOLOKACJA I JEJ ZASTOSOWANIA W METEOROLOGII

(Skrypt)





WARSZAWA WRZESIEŃ 1966

A K A D E M I A S Z T A B U G E N E R A L N E G O
im.gen.broni K.Swierczewskiego

KATEDRA nr 23

29

ZATWIERDZAM
SZEF KATEDRY nr 23

Temat: **RADIOLOKACJA I JEJ ZASTOSOWANIA W METEOROLOGII**

Biblioteka Szkoleniowa ... Nr inwent. S/584 ... im. gen. bryg. K. Świerczewskiego

BIBLIOTEKA GŁÓWNA ... Nr ewid. 4188 ... Zbiorów Niepodwarnej Akademii

OPRACOWAŁ

Kmdr por. Jerzy NOWAK

WARSZAWA styczeń 1967 r.

ERRATA DO SKRYPTU PT: RADIOLOKACJA I JEJ ZASTOSOWANIA W METEOROLOGII.

Strona	Wiersz	Jest	Winno być
7	7 od góry	gdzie: -	gdzie: $\mathcal{C}_0 \mathcal{J}_0$ -
12	3 od góry	pracujący	pracujące
13	3 od góry	w paśmie cm	w paśmie 3 cm.
13	9 od góry	w. paśmie	w paśmie
14	1 od dołu	skręcenie	skręcania
18	1 od góry	roboczą	roboczą
18	6 od dołu	kilkuset watów	kilkuset watów a nawet kilowatów
21	5 od góry	zwężając	zwężające
24	wyr.7b	Δt	$\check{c}$
27	11 od dołu	kilkuset kilowat	kilkuset kilowatów
43	9 od góry	określonej	określonej
54	14 od dołu	odchyleniem	odchyleniem
59	10 od góry	pojemność	pojemności
64	6 od góry	dołnka	dołnka

SPIS TRESCI

	strony
Uwagi wstępne	1
1. WPŁYW ZJAWISK METEOROLOGICZNYCH NA PRACE URZADZEN RADIOLOKACYJNYCH	3
1.2. Intensywność zjawisk meteorologicznych a możliwości ich obserwacji przez urządzenia radiolokacyjne	6
1.3. Przykład obliczeniowy	10
1.4. Wybór długości fal dla radiolokacyjnych stacji meteorologicznych	11
2. CHARAKTERYSTYKI TAKTYCZNO-TECHNICZNE RADIOLOKACYJNYCH STACJI METEOROLOGICZNYCH /RSM/	16
2.1. Wstęp	16
2.2. Charakterystyki techniczne	16
2.2.1. Charakterystyka impulsowa	16
2.2.2. Charakterystyka promieniowania	19
2.2.3. Czułość i pasmo przepuszczania odbiornika,.	20
2.2.4. Selektywność odbiornika	21
2.3. Charakterystyki taktyczne	21
2.3.1. Zakres pomiaru odległości	21
2.3.2. Zakres pomiaru współrzędnych kątowych.....	22
2.3.3. Dokładność pomiaru współrzędnych	22
2.3.4. Rozróżnialność	24
2.3.5. Przeszukiwanie przestrzeni	26
2.3.6. Uwagi	27
2.4. Uogólnione przykładowe charakterystyki taktyczno-techniczne radiolokacyjnych stacji meteorologicznych	27
3. BUDOWA I ZASADA PRACY RADIOLOKACYJNYCH STACJI METEOROLOGICZNYCH	29
3.1. Podstawa działania urządzeń radiolokacyjnych	29
3.2. Rodzaje pracy stacji radiolokacyjnych	29
3.3. Metody określania współrzędnych kątowych...	32
3.4. Podstawa aparatura radiolokacyjnych stacji meteorologicznych	33

3.4.1. Układ nadawczy 33
3.5. Układ antenowo-przesyłowy 41
3.6. Układ odbiorczy 49
3.7. Układ pomiaru odległości 52
3.8. Wskaźniki stosowane w RSM 56
3.8.1. Wskaźnik panoramiczny /typu P/ 56
3.8.2. Wskaźnik z liniową podstawą czasu /typu A/ 61
3.8.3. Wskaźniki innych typów stosowane w RSM 64
3.9. Układ sterowania anteną 64
3.10. Układ przekazywania i rejestracji danych 65
3.11. Układ zasilania energią elektryczną 65
4. BUDOWA, ZASADA PRACY I PRZEZNACZENIE RADIOSOND.. 66
5. TYPY I PRZEZNACZENIE RADIOLOKACYJNYCH STACJI METEOROLOGICZNYCH 74
5.1. Wstęp 74
5.2. Radiolokacyjne służby meteorologiczne zagranicą 76
5.3. Stacja amerykańska AN/CPS-9 79
5.3.1. Dane techniczne stacji AN/CPS-9 79
5.3.2. Budowa stacji AN/CPS-9 80
5.4. Angielska meteorologiczna stacja radiolokacyjna 83
5.5. Stacja meteorologiczna typu LAWIN AN/GMD-1B 87
5.5.1. Dane techniczne stacji 87
5.5.2. Amerykańskie urządzenia AN/TPQ-11 87
5.6. Radiolokacyjna stacja meteorologiczna DESCA/RADAR Zakładu Aerologii PIHM 88
5.7. Radiolokacyjne stacje przeciwburzowe 93
5.7.1. Angielska stacja przeciwburzowa typu E-120 96
5.7.2. Amerykańska stacja przeciwburzowa typu AVQ-10 .. 97
5.7.3. Stacja BENDIX-RDR-1 98
5.7.4. Stacja COLLINS WP-101 98
5.7.5. Układ "izo-echo" 98
5.8. Urządzenia radiolokacyjne do badania prądów morskich 100
5.9. Stacje meteorologiczne specjalnych typów 101
6. UWAGI O ROZPOZNANIU METEOROLOGICZNYM DLA POTRZEB LOTNICTWA 105
6.1. Wstęp 105
6.2. Przykład 107

6.3. Meteorologiczne ubezpieczenie lotów 107
7. UWAGI O ZNACZENIU LOTNICZEGO ZABEZPIECZENIA METEOROLOGICZNEGO W CZASIE WOJNY 110
7.1. Wstęp 110
7.2. Osłona meteorologiczna 110
8. UWAGI O METEOROLOGICZNYM PROGNOZOWANIU SKAŻEŃ 111
8.1. Wstęp 111
8.2. Przykłady urządzeń radiolokacyjnych do obserwacji wiatrów górnych 111
8.3. Wysokość wznoszenia się obłoku promieniotwórczego 112
8.4. Objętość obłoku promieniotwórczego 112
8.5. Dane wyjściowe do prognozowania skażeń 113
8.5.1. Definicja prognozowania skażeń 113
8.5.2. Cel prognozowania 113
8.5.3. Wymagane dane do prognozowania 113
8.6. Otrzymywanie danych o parametrach wybuchów jądrowych 113
8.7. Radiolokacyjno-meteorologiczne zabezpieczenie prognozowania skażeń promieniotwórczych w przyszłości 114
9. UWAGI KONCOWE 114
10. WYKAZ LITERATURY 117

UWAGI WSTEPNE

Jest rzeczą trudną w uogólnionym opracowaniu odpowiednio ująć oraz wyjaśnić w przystępnej formie rozległe zagadnienia związane z zastosowaniem radiolokacji w meteorologii. W gruncie rzeczy rozległa dziedzina techniki, jaką jest radiolokacja jest właściwą racją istnienia radiometeorologii. Za pomocą pomiarów radiolokacyjnych "widzimy" przemiany i zjawiska zachodzące w atmosferze, obserwując zarówno chmury, burze, wyładowania atmosferyczne, jak i inne zjawiska zachodzące w otaczającej nas przestrzeni. Radiolokacja umożliwia prowadzenie obserwacji i pomiarów meteorologicznych, tak bardzo ważnych w życiu społeczeństwa i szeroko wykorzystywanych w technice wojskowej. Jednakże powszechnie wiadomo, że radiolokacja i meteorologia są dzisiaj bardzo rozległymi gałęziami nauki i techniki oraz cechuje je nadal ogromne tempo rozwoju. Zarówno o radiolokacji jak i meteorologii, można mówić oddzielnie, bowiem jedna i druga dziedzina znajdują szerokie zastosowanie nie tylko w wojsku.

Jeśli jednak mówimy, że radiolokacja jest również na usługach meteorologii, to oczywistą jest iż wówczas będzie istniało bardzo ścisłe powiązanie tych dwóch gałęzi nauki i techniki.

Przegląd zastosowań radiolokacji w meteorologii, szczególnie dla potrzeb wojskowych, nie jest zadaniem uproszczonym a to z wielu bardzo istotnych powodów.
Przede wszystkim, ze względu na obecność występujących zagadnień nie jest możliwe dokładne omówienie wszystkich problemów dotyczących zastosowania urządzeń radiolokacyjnych z meteorologii. Ponadto, omówienie danych taktyczno-technicznych oraz budowy i zasady pracy radiolokacyjnych stacji meteorologicznych, będących na wyposażeniu naszego wojska, w publikacji jawnej, ze zrozumiałych względów jest niemożliwe. Z drugiej strony opracowanie skryptu o charakterze tajnym, obejmującym zagadnienia konstrukcyjne i eksploatacyjne nowoczesnych radiolokacyjnych stacji meteorologicznych stosowanych w LWP, byłoby zbędne. Uzasadniam to tym, że powyższe zagadnienia stanowią treść wielu tajnych instrukcji i regulaminów dotyczących tych stacji, a skrypt byłby wówczas dublowaniem materiałów, z którymi czytelnik wojskowy

może zapoznać się w Bibliotece Tajnej ASG.

Natomiast problemy poruszane w niniejszym opracowaniu mają stanowić pewien materiał informacyjny, dotyczący radiolokacyjnych metod i środków obserwacji i pomiarów meteorologicznych, stąd też wszystkie zagadnienia omawiane w skrypcie mają charakter jawny. Przyjęcie tej zasady w opracowaniu skryptu podyktowane zostało tym, że niejednokrotnie czytelnika mogą zainteresować ogólne możliwości wykorzystania urządzeń radiolokacyjnych w meteorologii, a nie konkretne zagadnienia rozwiązań konstrukcyjnych stacji meteorologicznych.

Należy nadmienić, że na wstępie skryptu celowo wspomniano o niektórych zagadnieniach techniki radiolokacyjnej, ponieważ może zaistnieć i taki przypadek, że nie wszyscy czytelnicy będą w pełni zorientowani w tych zagadnieniach, a ponadto opracowanie niniejsze nie może być przedstawione w oderwaniu od tych zagadnień.

W niniejszym skrypcie dokonano ogólnego przeglądu zastosowań radiolokacji w meteorologii w oparciu o źródłowe materiały zagraniczne oraz dostępne publikacje krajowe /jawne/. Stąd też należy z pewną rezerwą odnosić się do niektórych danych taktyczno-technicznych RSM, bowiem w prasie zagranicznej niejednokrotnie ukazują się dane tendencyjne a ponadto niektóre urządzenia radioelektorniczne nie zawsze stanowią najnowsze osiągnięcia w tej dziedzinie techniki.

I. WPŁYW ZJAWISK ATMOSFERYCZNYCH NA PRACE URZADZEN RADIOLOKACYJNYCH

Omówienie wstępne.

Przy wykorzystaniu stacji radiolokacyjnych do celów wojskowych często spotykano się z występowaniem niepożądanych efektów, które zaobserwowano wówczas, gdy między stacją a obserwowanym obiektem, względnie obok tego celu, znajdowała się strefa opadów atmosferycznych. Znikanie, względnie pojawianie się fałszywych sygnałów, występowało szczególnie wyraźnie na falach decymetrowych tak, że echa powodowane opadami deszczu o dużym natężeniu często były pomyłkowo traktowane jako odbicia pochodzące od samolotów.

Dzięki wnikliwemu studiowaniu podobnych odbić, stacja radiolokacyjna stała się obecnie cennym urządzeniem do badania zjawisk meteorologicznych. Przy jej pomocy jedna radiolokacyjna stacja meteorologiczna jest w stanie przeprowadzić szczegółowe przestrzenne rozpoznania atmosfery w dużym zasięgu i uzyskać dokładne informacje, których nie można byłoby otrzymać innym sposobem.

W ostatnich 15 latach stacja radiolokacyjna stała się niezbędnym narzędziem w pracy meteorologa, umożliwiającym ostrzeganie przed zbliżającymi się burzami i opracowanie krótkoterminowych prognoz pogody dla rejonu stacji. Ponadto radiolokacyjne stacje meteorologiczne spełniają szereg innych zadań, o których będzie mowa w dalszej części skryptu.

Początkowo stacja radiolokacyjna uważana była jedynie za urządzenie, za pomocą którego można było obserwować pojedyncze obiekty, np. samoloty, względnie okręty lub inne obiekty i dokładnie określać ich położenie w przestrzeni. Przy wykorzystaniu radiolokacyjnych stacji meteorologicznych przekonamy się, że atmosfera nie jest całkowicie przezroczysta dla fal elektromagnetycznych.

Stałe podwyższanie wymagań w stosunku do stacji radiolokacyjnych, odnośnie dokładności uzyskiwanych informacji, ich wymiarów, ciężaru, udogodnień eksploatacyjno-terenowych zmusiły do przesunięcia zakresu pracy stacji w kierunku coraz większych częstotliwości, co z kolei wywołało występowanie w coraz silniejszym stopniu zakłóceń obserwacji,

spowodowanych zjawiskami meteorlogicznymi.

Badania specjalistów radiolokacji nad wyeliminowaniem tych zakłóceń zainteresowały meteorologów, którzy zaczęli pracować nad możliwością zwiększenia odbić małych powierzchni skutecznych, jakimi dla fal elektromagnetycznych są kropelki deszczu, płatki śniegu względnie gradu.

1.2. Intensywność zjawisk meteorologicznych a możliwości ich obserwacji przez urządzenia radiolokacyjne.

Zagadnienia intensywności zjawisk meteorologicznych odgrywają szczególną rolę w ich zobrazowaniu na ekranach wskaźników stacji radiolokacyjnych, w związku z czym konieczne jest szczegółowe omówienie teoretycznych zasad określania skuteczności odbicia od obiektów zajmujących duże objętości. Do obiektów tych należy zaliczyć wszystkie ciała znajdujące się w stmosferze.

Zasadniczą rolę w radiolokacji w ogóle, odgrywa tzw. promieniowanie wtórne fal radiowych, ponieważ od natężenia promieniowania wtórnego zależy zacięg stacji radiolokacyjnej.

Określając zasięg stacji meteorologicznych, musimy ilościowo określić moc promieniowania wtórnego, odbieraną przez antenę odbiorczą stacji. Wartość tej mocy zależy od właściwości anteny odbiorczej, od właściwości samego obiektu i odległości.

Właściwości obiektu charakteryzowane są zazwyczaj przez jego powierzchnię skuteczną, którą oznaczamy przez "S_{sk}". Powierzchnię tę określamy z następujących zależności:

$$S_{sk} \cdot F_1 = 4 \pi \cdot r^2 \cdot F_2 \qquad /1/$$

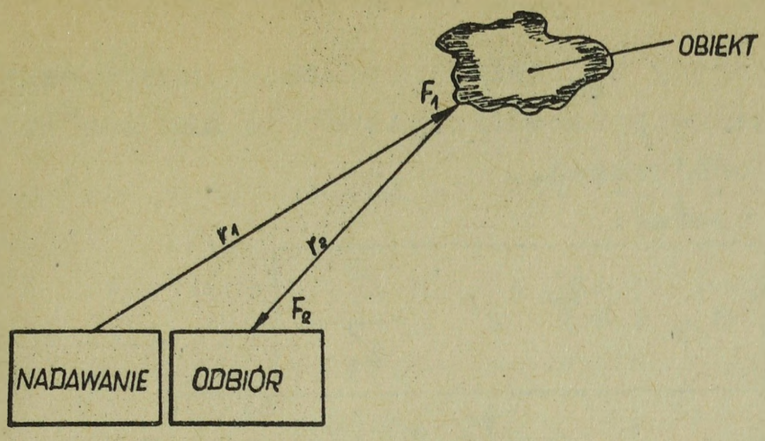
gdzie:

F_1 - gęstość strumienia mocy promieniowania pierwotnego w miejscu położenia obiektu;

F_2 - gęstość strumienia mocy promieniowania wtórnego w miejscu zainstalowania anteny odbiorczej.

$r = r_2$ odległość między obiektem a anteną odbiorczą.

/oznaczenia r_1, r_2 na /rys.1/.



Rys.1 Zasada promieniowania wtórnego.

Podany we wzorze /1/ iloczyn $S_{sk} \cdot F_1$ przedstawia pewną umowną moc, jak gdyby odpromieniowaną przez obiekt. Natomiast iloczyn $4\pi r^2 F_2$ równałby się całkowitej mocy promieniowania wtórnego jedynie w tym przypadku, gdyby obiekt promieniował energię równomiernie we wszystkich kierunkach, wytwarzając w odległości "r" gęstość strumienia mocy F_2.

W rzeczywistości jednak obiekt wypromieniowuje padającą na niego energię nierównomiernie i dlatego wielkość $S_{sk} \cdot F_1$ nie równa się mocy padającej na obiekt, a jego powierzchnia skuteczna zależy od kierunku padania fali. A zatem zgodnie z określeniem:

$$S_{sk} = 4\pi r^2 \frac{F_2}{F_1} \qquad /2/$$

Należy ponadto wyjaśnić, że powierzchnia skuteczna $/S_{sk}/$ nie zależy od F_1, ponieważ promieniowanie wtórne, a więc i F_2 jest proporcjonalne do F_1, poza tym S_{sk} praktycznie biorąc nie zależy od odległości r, gdyż gęstość strumienia mocy promieniowania wtórnego jest odwrotnie proporcjonalna do r^2.

W ogólnym przypadku S_{sk} zależy od długości fali, konfiguracji i wymiarów obiektu oraz od jego usytuowania w danej chwili w przestrzeni. Wartość średnia powierzchni skutecznej $/S_{sk}/$ określana jest dla konkretnych przypadków na podstawie pomiarów /lub obliczeń/ F_1 i F_2 przy znanym r.

Wzór określający S_{sk} można napisać w innej postaci, jeśli uwzględnimy natężenie pola elektrycznego w miejscu położenia obiektu i anteny odbiorczej.
Wzór będzie miał postać:

$$S_{sk} = 4\pi \; r^2 \; \frac{E_2^2}{E_1^2} \qquad /3/$$

Gdzie: $E_2^2 = 120\pi \; F_2$ i $E_1^2 = 120\pi \; F_1$ /4/

przy czym: E_1 - natężenie pola elektrycznego w miejscu położenia obiektu;
E_2 - natężenie pola elektrycznego w miejscu zainstalowania anteny odbiorczej.

Skoro wyjaśniono definicję powierzchni skutecznej obiektu, wobec tego możemy omówić dalsze zagadnienia dotyczące obiektów, zajmujących duże objętości.

Rozpatrując na przykład odbicia od deszczu wypełniającego przestrzeń oświetlaną przez fale radiowe, można przyjąć, że krople deszczu są rozłożone równomiernie w przestrzeni, przy czym powierzchnia skuteczna poszczególnej kropli nie zależy od jej położenia.
Przyjmując uogólniony wzór charakteryzujący skuteczność odbicia od deszczu, a mianowicie:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r^2 \lambda^2}{S_A} \cdot \frac{c \cdot ti}{2} \cdot \frac{N \cdot So}{S_{sk}} \qquad /5/$$

określimy w dalszych rozważaniach powierzchnię skuteczną deszczu.

gdzie: P_1 - moc odbita od powierzchni /od przestrzeni deszczowej/;
P_2 - moc odebrana od obiektu;
c_{ti} - długość paczki promieniowania /c-szybkość rozprzestrzeniania się fal radiowych, ti - czas trwania impulsu/.
r - odległość;
λ - długość fali;
S_A - powierzchnia anteny;

S_{sk} - powierzchnia skuteczna obiektu;
S_o - średnia powierzchnia skuteczna kropli;
N - gęstość objętościowa deszczu /liczba kropli w jednostce objętości/.

Objętość oświetlana przez wiązkę fal radiowych w czasie trwania impulsu wynosi:

$$V_i = \Theta_o \phi_o \frac{c\tau_i}{2} r^2 \qquad /6/$$

gdzie: - oznacza kąt bryłowy wiązki antenowej;

Oznaczając powierzchnię skuteczną kropli deszczu przez S_o oraz liczbę kropel w jednostce objętości przez N, otrzymamy:

$$P_1 = F_1 \cdot V_i \; S_o N = F_1 \Sigma S_o \qquad /7/$$

gdzie:
P_1 - moc odbita od przestrzeni deszczowej;
ΣS_o - powierzchnia skuteczna przestrzeni deszczowej;

Moc odebrana od obiektu, zgodnie z definicją wynosi:

$$P_2 = F_1 \cdot S_{sk} \qquad /8/$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_i S_o N}{S_{sk}} = \frac{\Sigma S_o}{S_{sk}} = \Theta_o \phi_o \cdot \frac{c\tau_i}{2} r^2 \cdot \frac{S_o N}{S_{sk}} \qquad /9/$$

Podstawiając

$$\Theta_o \phi_o = \frac{4\pi}{G} \qquad /10/$$

gdzie:
G - oznacza zysk kierunkowy, przy czym:

$$G = \frac{4\pi S_A}{\lambda^2} \qquad /11/$$

Dalej

stąd:

$$\Theta_o \Phi_o = \frac{4\pi}{\frac{4\pi S_A}{\lambda^2}} = \frac{\lambda^2}{S_A} \qquad /12/$$

Ostatecznie otrzymamy:

$$\frac{P_2}{P_2} = \frac{\lambda^2}{S_A} \cdot \frac{cti}{2} r^2 \cdot \frac{S_o N}{S_{sk}} \qquad /13/$$

W rezultacie po odpowiednich przekształceniach i wprowadzeniu uproszczeń w odniesieniu do niektórych wyrażeń otrzymamy

$$S_{sk} = 300 d^2 \left/ \frac{d}{\lambda} \right/^4 \qquad /14/$$

gdzie: d- oznacza średnią średnicę kropli.

Jeżeli chodzi o badania opadów atmosferycznych przy wykorzystaniu stacji meteorologicznych, to szczególnie ważne jest określenie intensywności tych opadów ze względu na ich skuteczną powierzchnię odbicia, co ma zasadniczy wpływ tych opadów na zobrazowanie na ekranie wskaźnika stacji radiolokacyjnej.

Z odpowiednich obliczeń i w wyniku otrzymania odbić od opadów ustalono, że powierzchnię skuteczną można w przybliżeniu obliczyć wg wzoru:

$$\sigma = \frac{D^6}{\lambda^4} \qquad /14a/$$

gdzie:

σ - skuteczna powierzchnia odbicia opadów /wzór przybliżony/;

D - parametr odnoszący się do kropli opadu /deszczu/ zwykle wynosi 0,5 - 7,0 mm;

λ - długość fali roboczej stacji.

Z powyższego wzoru wynika, że skuteczna powierzchnia odbicia będzie tym większa, im większe będą krople deszczu i im krótsza fala. Mgły i chmury zatem wywołują tłumienie,

które jest nieznaczne dla fali o długości ok. 10 cm i powiększa się ze wzrostem częstotliwości.

W literaturze zagranicznej podano obliczenia odnoszące się do tłumienia energii elektromagnetycznej w decybelach na milę /1 mila = 1,62 km/, w warunkach słabego /25/, średniego /50/, silnego /100/ deszczu przy temperaturze wynoszącej 18°C. Tego rodzaju obliczenia zestawiono w tabeli 2.

Intensywność opadów [mm/godz.] / Długość fali [cm]		25	50	100
3	TŁUMIENIE	1,3	2,6	5,2
6		0,14	0,27	0,54
10		0,012	0,024	0,046

Z powyższych przybliżonych obliczeń wynika, że tłumienie szybko maleje ze wzrostem długości fali roboczej stacji radiolokacyjnej, stąd też tego rodzaju zagadnienia, brane są pod uwagę przy wyborze długości fal dla RSM, o czym będzie mowa w następnym punkcie.

Zastosowanie odpowiednich typów radiolokacyjnych stacji meteorologicznych, może w dużym stopniu wiązać się z charakterystycznym dla danego rejonu stanem pogody i warunków meteorologicznych, szczególnie gdy dotyczy to obszarów o dużym nasileniu chmur, mgieł, opadów /np. Anglia/.

Jest to ważne dla warunków radiolokacyjnych, ponieważ sygnał odbity np. od chmur deszczowych, składających się z wielkich ilości cząsteczek /kropli/, będzie określony sumą odbitych sygnałów od oddzielnych cząsteczek z uwzględnieniem ich amplitud i faz.

Amplituda zależy od skutecznej powierzchni odbicia, natomiast faza, od odległości między rozsianymi cząsteczkami /kroplami/ a nadajnikiem stacji radiolokacyjnej. Ponieważ jednak te odległości nie są stałe, a to na skutek przemieszczania się cząsteczek, wobec tego następuje zawsze zmiana faz.

Intensywność odbitych sygnałów, w znacznym stopniu zależy od skutecznej powierzchni odbicia opadów, co jest uzależnione od rozmiarów cząsteczek tych opadów.

1.3. Przykład obliczeniowy

Przeprowadzimy orientacyjne obliczenie skutecznej powierzchni odbijającej od przestrzeni deszczowej, przyjmując, że stacja radiolokacyjna na fali o długości $\lambda = 3$ cm, posiada dane: dla odległości 30 km, czas trwania impulsu 0,7 mikrosekundy, kąt bryłowy wiązki 0,01 steradiana - kąt ten odpowiada wiązce antenowej o wymiarach: 3° - w płaszczyźnie poziomej i 12° w płaszczyźnie pionowej.

Następnie przyjmujemy, że deszcz charakteryzuje się średnicą kropel d = 1 mm i ich koncentracją $N = 10 / \frac{1}{litr}$ lub w jednym metrze sześciennym wynoszącym $N \approx 10^4 / \frac{1}{m^3} /$.

Przy $t_i = 0{,}7 \mu s$ $\frac{ct_i}{2} \approx 100$ /m/

objętość impulsu:

$$V_i = \frac{ct_i}{2} r^2 \Theta_0 \phi_0 = 100/30 \cdot 10^3/^2 ; 0{,}01 = 9 \cdot 10^8 /m^3/.$$

Dla tak zwanej małej kuli dielektrycznej istnieje wzór:

$S_0 = 300\ d^2 / \frac{d}{\lambda}/^4$ tzn. powierzchnia skuteczna wzrasta bardzo szybko ze zwiększeniem się średnicy kropel /w szóstej potędze/ oraz ze zmniejszeniem się długości fali /w czwartej potędze/.

Podstawiając do poprzedniego wzoru odpowiednie wartości otrzymamy:

$$S_0 = 300 /0{,}1/^2 /\frac{0{,}1}{3}/^4 = 300 \cdot 0{,}01 \frac{10^{-4}}{81} /cm^2/ = 300 \cdot \frac{10^{-10}}{81} /m^2/$$

Podstawiając z kolei $N \cdot S_0$ i V_i otrzymamy skuteczną powierzchnię odbijającą od przestrzeni deszczowej:

$$\Sigma S_0 = N \cdot V_i S_0 = 10^{-4} \cdot 9 \cdot 10^{-8} \cdot 300 \frac{10^{-10}}{81} \approx 2400 /m^2/.$$

Jak wynika z powyższego przykładu RSM w konkretnym wypadku będzie w stanie zobrazować odbicia od chmury deszczowej mającej powierzchnię 2400 m^2, gdy natomiast powierzchnia skuteczna np. myśliwca wynosi ok. 10 - 15 m^2, ciężkiego bombowca 50 - 100 m^2 i więcej, do 150 m^2, a zatem są to powierzchnie skuteczne o wiele mniejsze od zobrazowania chmury deszczowej.

Reasumując powyższe rozważania można stwierdzić, że stacje radiolokacyjne zakresu centymetrowego mogą z powodzeniem prowadzić obserwację chmur deszczowych, gradowych, mgły itp. Jednakże określenie to nie jest precyzyjne, bowiem zakres fal centymetrowych wynosi jak wiadomo od 1 do 10 cm, a więc należy ściśle ustalić, na jakich zakresach pracują radiolokacyjne stacje meteorologiczne.

1.4. Wybór długości fal dla radiolokacyjnych stacji meteorologicznych.

Wspomniano już o tym, że istnieje pewna zależność między długością fali na jakiej pracować ma RSM a możliwościami obserwacji zjawisk meteorologicznych.

Jak wynika z praktyki, rozpiętość długości fal różnych RSM jest dość znaczna i waha się w granicach od 8 mm do 10 cm.

W przypadku obserwowania opadów, wybór odpowiedniej fali zależny jest od właściwości atmosfery, zdolnej do pochłaniania wysyłanych przez stację radiolokacyjną fal. I tak na przykład, dla deszczu o małym natężeniu optymalną długością fali, na której powinien pracować radiolokator, jest fala o długości ok. 3 cm, natomiast dla obserwowania intensywnych burz /chmur burzowych/ optymalna długość fali z reguły wynosi ok. 5-7 cm. Z kolei do obserwacji chmur o niewielkiej koncentracji i to w dodatku bardzo małych kropel, a więc chmur o małej wodności, stosowane są urządzenia radiolokacyjne pracujące na zakresie fal rzędu kilku milimetrów.

Dla odmiany chmury wysokie, kłębiaste /altocumulus/ oraz warstwowe /stratus i altostratus/ najlepiej jest obserwować przy użyciu stacji pracujących na fali o długości 1 cm. Stąd wniosek, że najwłaściwszym rozwiązaniem byłoby więc posiadanie przez placówkę, zajmującą się tego rodzaju obserwacjami i badaniami, kilku stacji radiolokacyjnych, pracujących na różnych długościach fali.

Jednak w przypadku, kiedy placówka meteorologiczna dysponuje tylko jednym radiolokatorem, pracującym na jednej długości fali, najszersze zastosowanie ma RSM pracujący na fali o długości 3,2 cm. Za pomocą takiej właśnie stacji radiolokacyjnej można obserwować tworzenie się burz, opadów o średnim natężeniu itp.

Rozpatrując zagadnienia obserwacji meteorologicznych za pomocą stacji radiolokacyjnych, należy zwrócić uwagę na zależności między natężeniem odbieranego sygnału a zasięgiem.

Uwzględniając fakt, że wielkość kropel deszczu występujących w przyrodzie jest różna, można dowolnie wybrać długość fali, na której powinna pracować stacja radiolokacyjna.

Uzasadnimy to tym, że przy deszczu, wielkość kropli waha się w granicach od 0,5 do 7,0 mm, wówczas zgodnie z poczynionymi obserwacjami, kropla o średnicy 2,0 mm powoduje takie samo echo jak 4096 kropel o średnicy 0,5 mm, podczas gdy echo od kropli 2,5 mm odpowiada echu pochodzącemu od 15625 kropel o średnicy 0,5 mm.

Do wykrywania huraganów, tornado, trąb powietrznych itp. nadają się głównie stacje radiolokacyjne pracujące w zakresie fal 10-12 cm, gdyż tym zjawiskom meteorologicznym z reguły towarzyszą opady składające się z dużych kropel.

Natomiast do wykrywania deszczu jednostajnego, śnieżyc, mgieł itp. wykorzystywane są urządzenia pracujące na falach poniżej 10 cm.

Doświadczenia wykazały, że spodziewana korzyść, wynikająca ze zmniejszenia długości fali, zostaje w dużej mierze utracona na skutek absorpcji i rozproszenia tych fal w atmosferze. Przy dużych odległościach znaczna część energii wypromieniowanej przez stację jest pochłaniana przez obszar objęty opadami atmosferycznymi. Również przy podwyższaniu częstotliwości pracy stacji w zakresie fal rzędu 1,25 cm, występuje dość znaczne pochłanianie energii przez parę wodną zawartą w powietrzu, zaś dla fal rzędu 1 cm, powstaje dodatkowe pochłanianie tych fal przez dwutlenek węgla.

Ciekawych doświadczeń w zakresie wyboru odpowiednich długości fal dla radiolokacyjnych stacji meteorologicznych dokonano na Uniwersytecie Mc Gilla w Montrealu /Kanada/. W wyniku szeregu prób przeprowadzanych ze stacjami radiolokacyjnymi

ustalono, że gęsty deszcz, względnie gwałtowna burza, dość znacznie ograniczały zasięg stacji radiolokacyjnych pracujących w paśmie 3 cm. W wyniku zastosowania stacji pracujących na falach o długości 5,5 cm tłumienie zmniejszało się, lecz za to bardziej wyraźnie występowała dysproporcja między jasnością zobrazowania na wskaźnikach stacji radiolokacyjnych a natężeniem opadu atmosferycznego.

Natomiast przy zastosowaniu stacji radiolokacyjnych pracujących na paśmie 10 cm, prawie w ogóle nie zaobserwowano widocznego wpływu natężenia opadu atmosferycznego na zasięg stacji.

Ciekawe jest również porównanie ze sobą urządzeń pracujących na falach ok. 3 oraz 5 cm, i mających tę samą moc promieniowaną i ten sam typ anteny.

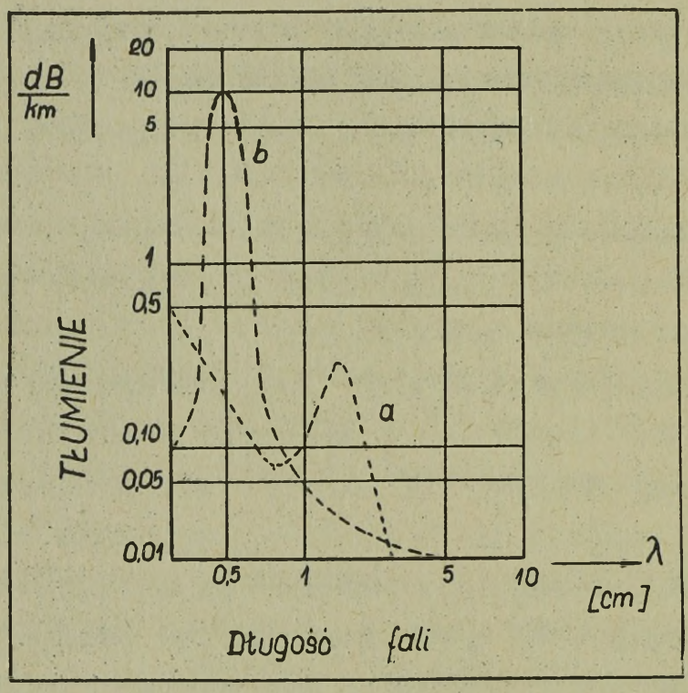
Doświadczenia wykazały, że przy padającym deszczu w ilości do 200 m h^{-1} na milę, urządzenie pracujące na fali 3 cm miało większy zasięg, niż urządzenie pracujące na fali 5 cm. Przy obserwowaniu deszczu o natężeniu większym niż wyżej wymienione okazało się, że zasięg urządzenia, pracującego na fali 3 cm zaczął gwałtownie maleć osiągając przy podwójnym natężeniu około 7 mil, zaś zasięg urządzenia, pracującego na fali 5 cm przy 400 mm . h^{-1} na milę spadł jedynie do 27 mil, czyli mniej niż 15%.

Doświadczenie wykazało również, że czułość odbiornika pracującego na fali 3 cm, zmniejsza się bardzo znacznie ze zmniejszeniem się natężenia obserwowanego opadu i te szybkie zmiany mogą w konsekwencji powodować mylną interpretację sygnału. Poza tym opad deszczu 500 mm . h^{-1} na milę czyni stację pracującą na fali 3 cm, zupełnie nieprzydatną, gdy tymczasem przy 5,7 cm, chociaż tłumienie było znaczne, czułość zmieniała się w stosunku do ilości padającego deszczu i zasięg nigdy nie malał poniżej 30%.

Uwzględniając wybór odpowiedniej długości /częstotliwości/ fal dla stacji meteorologicznych należy wziąć pod uwagę fakt, że fale radiowe o długości poniżej 20 cm, podlegają tłumieniu w troposferze, a dla fal o długości poniżej 10 cm, tłumienie może wywierać już tak istotny wpływ na zmniejszenie się zasięgu, że może być ono czynnikiem decydującym o wyborze tej lub innej częstotliwości a więc i długości fal.

Tłumienie fal radiowych wywołane jest absorpcją energii przez wodór i parę wodną /azot nie absorbuje energii/ oraz absorpcją i rozpraszaniem energii przez cząsteczki wody, deszczu, mgły lub chmury.

Na rys.2 przedstawiono krzywe tłumienia fal radiowych w zależności od długości fali.



Rys.2. Tłumienie fal radiowych w zależności od długości fali.

Krzywa a - wywołana absorpcją fali przez parę wodną w ilości 10 G/m^3;

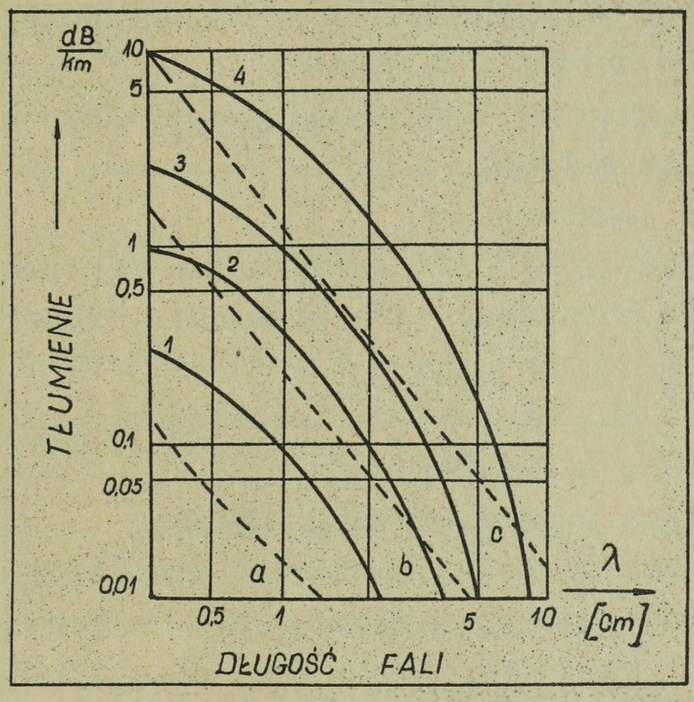
krzywa b - wywołana absorpcją fali przez wodór w ilości odpowiadającej 1/5 składu atmosfery i ciśnieniu 760 mm Hg.

Na rys.2 - krzywa przedstawia tłumienie w funkcji długości fali wywołane absorpcją fali przez parę wodną w ilości 10 G/m^3, odpowiada to wilgotności względnej 66% przy t = 18^oC. Na uwagę zasługuje istnienie maksimum tłumienia dla λ = 1,3 cm, związane z selektywnymi właściwościami pochłaniania energii elektromagnetycznej przez cząsteczki wody. Tłumienie, po przejściu /rys.2/ niedużego pasma, względnie przezroczystej troposfery /dla fali o długości ok.6-9 mm/, w miarę skręcania długości fali

wzrasta i troposfera staje się przezroczysta dopiero w zakresie fal bardzo krótkich, rzędu 15 μ.
Tłumienie wywołane parą wodną jest prawie proporcjonalne do wilgotności względnej.

Krzywa b /rys.2/ przedstawia tłumienie w funkcji długości fali, wywołane absorpcją fali przez wodór, w ilości odpowiadającej 1/5 składu atmosfery i ciśnieniu 760 mm Hg.

Zupełnie inne przebiegi będą w przypadku tłumienia wywołanego kroplami deszczu o różnej intensywności /rys.3/.



Rys.3. Tłumienie fal radiowych w zależności od długości fali /dla opadów/.

Na rys.3 przedstawiono tłumienie fal radiowych podczas deszczu /krzywe ciągłe/ przy różnej jego intensywności, a mianowicie:

- krzywa 1 - 0,25 mm/godz. - mżawka;
- krzywa 2 - 1 mm/godz. - słaby deszcz;
- krzywa 3 - 4 mm/godz. - średni deszcz;
- krzywa 4 - 16 mm/godz. - silny deszcz.

Krzywe przerywane przedstawiają tłumienie we mgle i chmurach dla różnej koncentracji wody w atmosferze a mianowicie:

- krzywa a - 0,032 G/m^3 - widzialność ok. 600 m;
- krzywa b - 0,32 G/m^3 - widzialność ok. 130 m;
- krzywa c - 2,3 G/m^3 - widzialność ok. 30 m.

2. CHARAKTERYSTYKI TAKTYCZNO-TECHNICZNE RSM:

2.1. W s t ę p.

Do podstawowych charakterystyk taktycznych RSM /podobnie jak innych typów/ stacji radiolokacyjnych zaliczamy:

- zakres pomiaru odległości, składające się na zasięg stacji /R/;
- zakres pomiaru współrzędnych kątowych / β, ε /;
- dokładność pomiaru współrzędnych;
- rozróżnialność w odległości i we współrzędnych kątowych;
- ilość obrotów anteny w jednostce czasu i wynikający stąd czas dookrężnej obserwacji przestrzeni w czasie jednego obrotu anteny;
- odporność na zakłócenia;
- dane eksploatacyjne /czas rozwinięcia względnie zwinięcia, szybkość marszowa, czas włączania, ilość obsługi itp/.

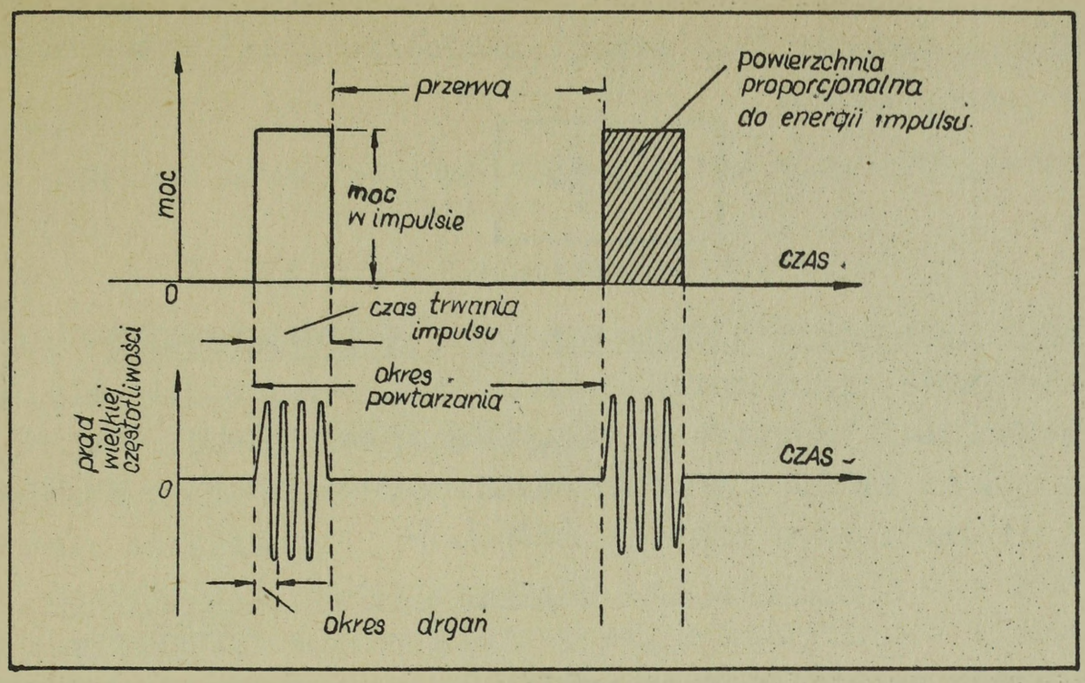
Do podstawowych charakterystyk technicznych zaliczamy:

- charakterystykę impulsów;
- charakterystykę promieniowania anteny;
- czułość i pasmo przepuszczania odbiornika itp.

Oczywiście zostały tu wymienione tylko najbardziej zasadnicze charakterystyki taktyczno-techniczne stacji radiolokacyjnych. Zajmiemy się bliżej objaśnieniem ich sensu fizycznego i praktycznego, co pozwoli w dalszej kolejności na omówienie konkretnych danych taktyczno-technicznych radiolokacyjnych stacji meteorologicznych. Pamiętajmy przy tym, że parametry taktyczne tych stacji pozostają w jak najbardziej ścisłym związku z ich parametrami technicznymi.

2.2. Charakterystyki techniczne.

2.2.1. Charakterystykę impulsową stacji radiolokacyjnej omówimy posługując się charakterystycznymi parametrami impulsów sondujących, przedstawionymi na rys.4.



Rys.4. Charakterystyczne parametry impulsów sondujących.

Przypomnijmy, że:

a/ Częstotliwość powtarzania = $\frac{1}{\text{okres powtarzania}}$

b/ Częstotliwość drgań = $\frac{1}{\text{okres drgań}}$

Impulsy wytwarzane przez stacje radiolokacyjne charakteryzują się:

- czasem ich trwania - częstotliwością drgań w impulsie;
- kształtem; - mocą szczytową i mocą średnią;
- częstotliwością powtarzania; - energią impulsu.

Czas trwania impulsów waha się zwykle w granicach od kilku mikrosekund do części mikrosekundy. W większości przypadków impulsy posiadają kształt zbliżony do prostokątnego.

Częstotliwość powtarzania impulsów jest różna w różnych stacjach radiolokacyjnych. Najczęściej stosuje się impulsy o częstotliwości powtarzania do kilku tysięcy Hz.

Wszystkie stacje radiolokacyjne pracują w paśmie u.w.cz. Częstotliwość drgań w impulsie mieścić się może dla różnych typów stacji w granicach od 60 MHz /długość równa 5 m/ do 30000 MHz /długość fali równa 1 cm/ i powyżej.

Roboczą długość fali stacji radiolokacyjnej można obliczyć przy pomocy wzoru:

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad /19/$$

gdzie:

c - szybkość rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych;

f - częstotliwość drgań w impulsie.

W zależności od roboczej długości fali, stacje radiolokacyjne dzielimy na stacje metrowego, decymetrowego, centymetrowego i milimetrowego zakresu /tab.1./.

Tabela 1

Stacje zakresu	Długość fali	Częstotliwość drgań w impulsie
Metrowego	większa od 1 m	mniejsza od 300 MHz
Decymetrowego	od 10 cm do 1 m	3000 MHz - 300 MHz
Centymetrowego	mniejsza od 10 cm	większa od 3000 MHz
Milimetrowego	mniejsza od 1 cm	większa od 30 GHz

Częstotliwość robocza, stosowana w stacji radiolokacyjnej, w zdecydowany sposób wpływa na konstrukcję jej zespołów: nadawczego i odbiorczego, linii przesyłowych oraz urządzenia antenowego.

Mocą radiolokacyjnej stacji w impulsie nazywamy moc u.w.cz. wytwarzaną przez nadajnik w czasie generowania impulsu. Moc w impulsie dla różnych stacji radiolokacyjnych waha się w granicach od 1 KW do kilku tysięcy KW /kilku MW/.

Energia zawarta w impulsie jest równa iloczynowi złożonemu z mocy w impulsie i czasu jego trwania $/P_i \cdot \tau /$.

Srednia moc stacji radiolokacyjnej równa się iloczynowi złożonemu z energii impulsu i częstotliwości powtarzania $/P_i \cdot \tau \cdot f_p/$, i wynosi zwykle od kilkudziesięciu do kilkuset watów.

Pod działaniem impulsu prądu u.w.cz. wytwarzanego przez nadajnik, antena stacji radiolokacyjnej wypromieniowuje w przestrzeni impuls fal radiowych /rys.5/. Impuls ten zajmuje sobą pewną przestrzeń. Jej długość d zależy od czasu trwania impulsu τ i równa się

$$d = c\,\tau \qquad /20/$$

gdzie:
c - szybkość rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych,
Jeżeli np $\tau = 1\ \mu sek$, wówczas d = 300 m.

2.2.2. Charakterystyka promieniowania stacji radiolokacyjnej posiada zwykle kształt złożony z jednego /rys.5-b/ lub kilku listków, często występuje w postaci "cygara" lub też może posiadać jakiś inny kształt, wynikający z konkretnego zastosowania stacji.

Szerokością charakterystyki promieniowania dla połowy mocy nazywamy kąt między kierunkami, w których moc wypromieniowaną przez antenę wynosi połowę mocy wysyłanej przez antenę w kierunku maksymalnego promieniowania. Szerokość charakterystyki promieniowania dla różnych typów stacji radiolokacyjnych wynosi od kilkudziesięciu do dziesiątych części stopnia.

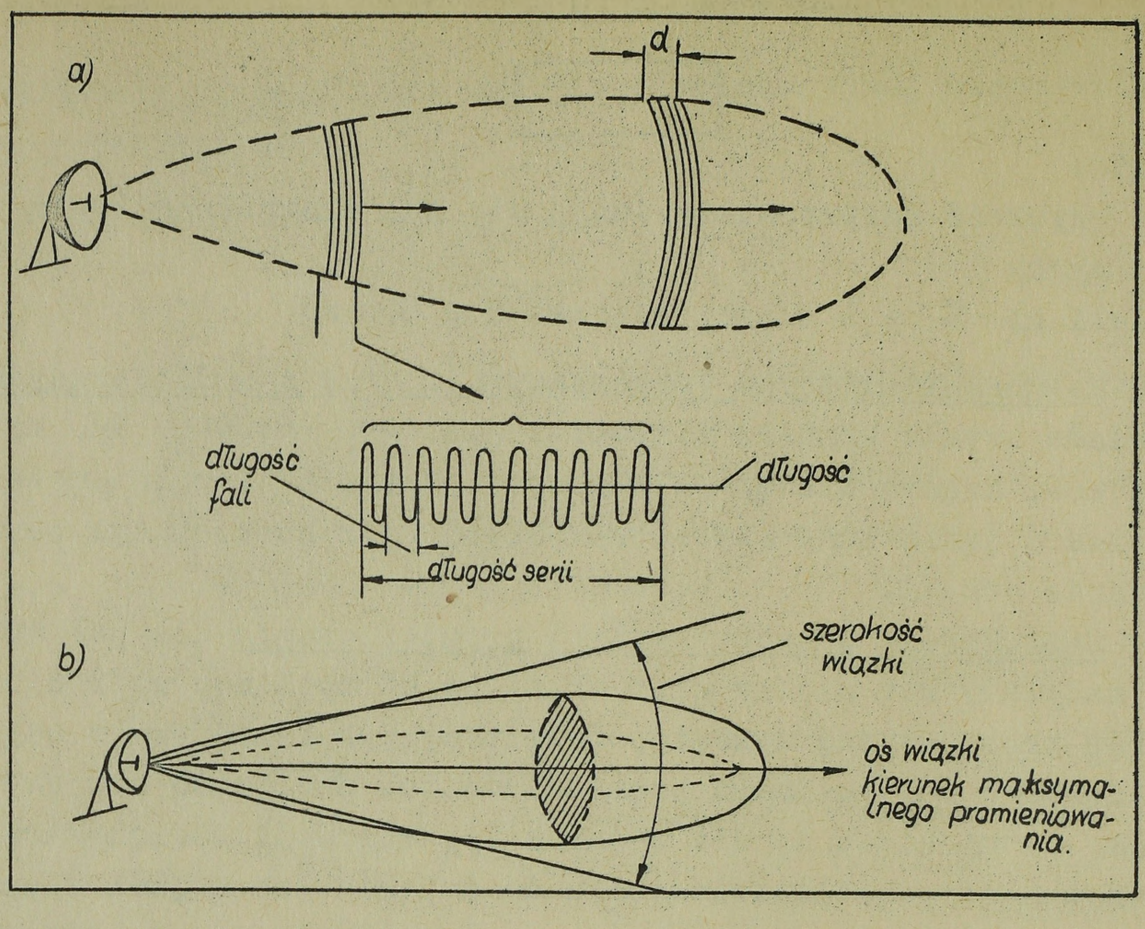
Szerokość charakterystyki promieniowania zależy od typu i wymiarów anteny, jak również od długości fali roboczej stacji. Im większa jest powierzchnia anteny i mniejsza długość fal, tym mniejsza jest szerokość charakterystyki.

Tak np. dla anteny parabolicznej o średnicy paraboloidu równej 2 m, szerokość charakterystyki promieniowania /długość fali równa 10 cm/ wynosi 4°, podczas gdy dla długości fali równej 3 cm wynosi ona tylko 1°.

Szerokość charakterystyki promieniowania dla anteny parabolicznej można wyliczać w przybliżeniu posługując się wzorem:

$$\Theta = 70\,\frac{\lambda}{D} \qquad /\text{stopień}/ \qquad /21/$$

gdzie: D - średnica paraboloidu;
λ - długość fali.



Rys.5. Impulsy sondujące /a/ i charakterystyka promieniowania /b/.

Często własności kierunkowe anteny ocenia się przy pomocy współczynnika zysku kierunkowego, który równa się stosunkowi mocy wysyłanej przez antenę w kierunku maksymalnego promieniowania do mocy wysyłanej przez antenę nie posiadającą własności kierunkowych /promieniującą dookólnie/.

2.2.3. Czułość i pasmo przepuszczania odbiornika. Czułość odbiornika jest określana wielkością minimalnego napięcia, względnie mocy sygnału na wyjściu odbiornika, przy której wielkość sygnału na wyjściu wystarcza do zadawalającej pracy wskaźnika, względnie innego urządzenia podłączonego do wyjścia odbiornika.

Czułość mierzymy w mikrowoltach, względnie w mikrowatach. Im jest słabszy dopuszczalny sygnał wyjściowy, tym większa czułość odbiornika. Zwykle czułość odbiorników radiolokacyjnych mierzona w jednostkach napięcia równa się kilku mikrowoltom. Ze wzrostem współczynnika wzmocnienia odbiornika - jego czułość wzrasta do takiej wartości, przy której napięcie szumów zrównuje się z napięciem sygnału wejściowego.

2.2.4. Selektywność odbiornika - jest to zdolność wydzielania sygnału użytecznego spośród innych sygnałów i zakłóceń, różniących się od sygnału użytecznego częstotliwością.

Im lepsza jest selektywność odbiornika, tym węższe jest jego pasmo przepuszczania. Zwężając jednak pasmo przepuszczania - zwiększamy również czas ustalenia się drgań. Dlatego też, jeżeli zastosujemy w odbiorniku zbyt wąskie pasmo, czas narastania czoła impulsu na wejściu odbiornika może być tak duży, że amplituda napięcia wyjściowego nie zdoła osiągnąć maksymalnej wartości w momencie, gdy impuls na całej swej szerokości przejdzie przez obwody wejściowe. Tego rodzaju zmniejszenie pasma przepuszczania prowadzi do zmniejszenia sygnału użytecznego w porównaniu z szumami i do obniżenia średniej czułości odbiornika.

Wynika stąd, że istnieje jakaś optymalna wstęga przepuszczania, dla której średnia czułości odbiornika uzyskuje wartość maksymalną. Wielkość optymalnego pasma przepuszczania odbiornika jest odwrotnie proporcjonalna do czasu trwania wzmacnianych impulsów.

2.3. Charakterystyki techniczne /omówienie wstępne/.

2.3.1. Zakres pomiaru odległości.

Stacja radiolokacyjna charakteryzuje się maksymalnym i minimalnym zasięgiem.

Maksymalny zasięg stacji jest w złożony sposób uzależniony od mocy impulsowej nadajnika, czułości odbiornika, czasu trwania impulsu, szerokości charakterystyki promieniowania rozmiarów i kształtu wykrywanych obiektów; zależy on również od częstotliwości roboczej stacji.

Ze wzrostem mocy impulsowej nadajnika maksymalny zasięg stacji radiolokacyjnej wzrasta, ale bardzo powoli. I tak np. z 16-krotnym wzrostem mocy w impulsie, zasięg wzrasta tylko dwukrotnie. Na maksymalny zasięg posiada również wpływ czułość odbiornika. To samo odnosi się do wzrostu czasu trwania impulsu, ponieważ można wtedy zmniejszyć wstęgę przepuszczania odbiornika i w wyniku tego jego średnią czułość.

Maksymalny zasięg wzrasta ze zmniejszeniem szerokości promieniowanej wiązki energii elektromagnetycznej, ponieważ w tym wypadku energia ta jest bardziej skoncentrowana na kierunku promieniowania.

Maksymalny zasięg zależy wreszcie od rozmiarów obiektu; im większy obiekt, tym więcej odbija on energii oraz z tym większej odległości może być wykryty przez stację.

Częstotliwość powtarzania impulsów sondujących wpływa na zasięg stacji radiolokacyjnej. Ogólnie biorąc, ze wzrostem częstotliwości powtarzania impulsów sondujących zasięg stacji maleje.

Dla każdej stacji radiolokacyjnej jest z góry określony minimalny zasięg, tzn. nie może ona wykrywać i śledzić obiektów znajdujących się w bardzo bliskiej odległości, ponieważ w czasie wysyłania impulsu sondującego i przez pewien bardzo krótki odcinek czasu po jego wysłaniu, odbiornik nie może odbierać sygnałów echa. Minimalny zasięg jest proporcjonalny do czasu trwania impulsu.

2.3.2. Zakres pomiaru współrzędnych kątowych.

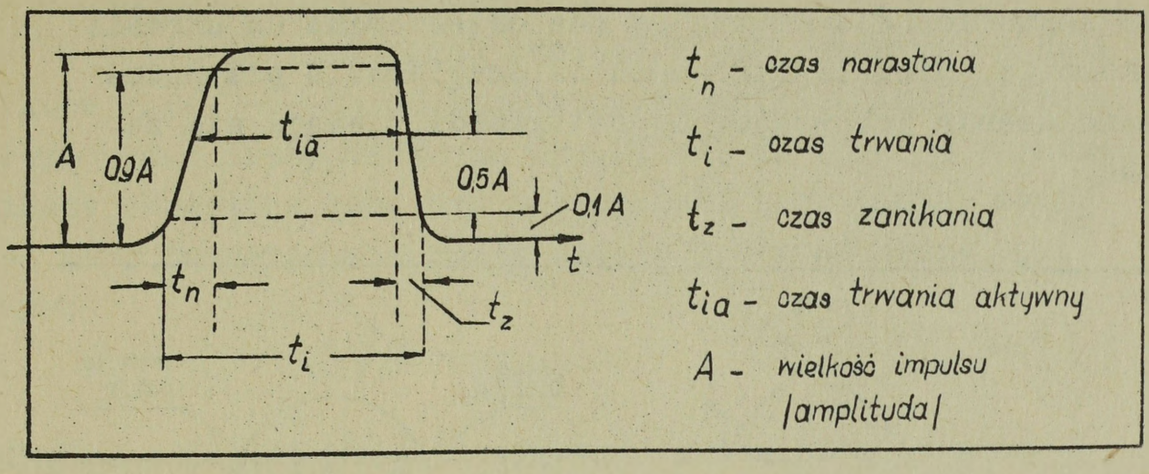
W większości stacji radiolokacyjnych pomiaru azymutu można dokonywać nieograniczenie /w granicach 360°/, ponieważ antena jest w stanie wykonywać obroty w sposób ciągły.

Zakres pomiaru kąta położenia zależy od typu i konstrukcji stacji radiolokacyjnej. W stacjach, w których antena wykonuje ruch w kącie położenia /zwykle w stacjach zakresu centymetrowego/, górny zakres pomiaru kąta położenia jest bliski 90°, zaś dolny zakres jest określony szerokością promieniowanej wiązki /gdy antena na tyle pochyli się w stronę ziemi, że promieniowana wiązka zostanie zniekształcona, wówczas kąt położenia może być zmierzony ale z dużymi błędami/.

2.3.3. Dokładność pomiaru współrzędnych.

Pomiar odległości, przy pomocy stacji radiolokacyjnej, sprowadza się do pomiaru czasu opóźnienia sygnału echa: im bardziej dokładnie jest ten czas mierzony, tym większa jest dokładność pomiaru odległości. Należy mieć na uwadze, że błąd w pomiarze opóźnienia wynoszący np. 0,1 μsek, pociąga za sobą błąd pomiaru odległości wynoszący ok. 15 metrów.

Moment odbioru sygnału echa, można zarejestrować z dużą dokładnością tylko w tym przypadku, jeśli impuls wytwarzany przez nadajnik ma kształt prostokątny, tj. ma bardzo strome zbocza /rys.6/.



Rys.6. Określenie czasów impulsów /prostokątnych/.

Dlatego też, w stacjach mierzących odległość z dużą dokładnością, nadajnik powinien wytwarzać impuls o bardzo stromych zboczach. Szczególnie strome powinno być zbocze impulsu, które służy za punkt odniesienia dla pomiaru odległości.

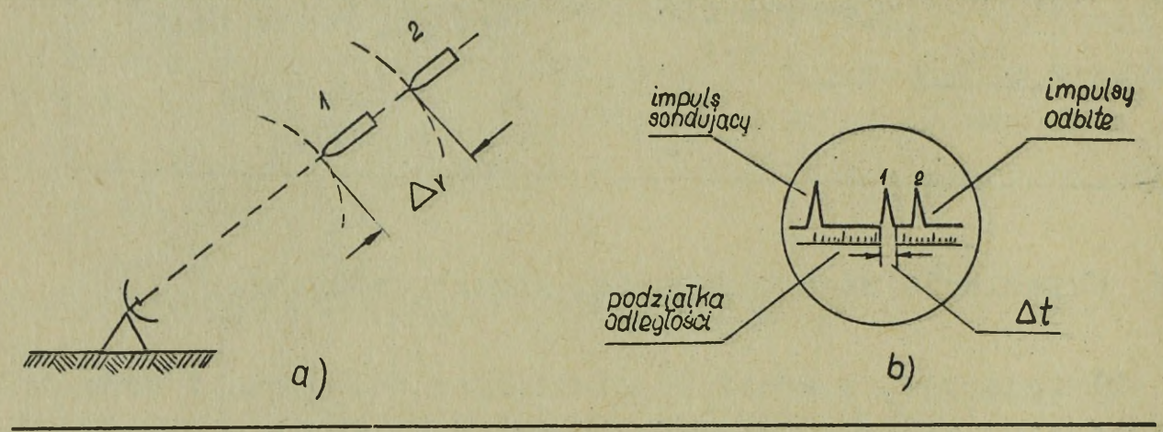
Dokładność pomiaru współrzędnych kątowych zależy od szerokości promieniowanej wiązki energii elektromagnetycznej i od zastosowanej metody pomiaru współrzędnych kątowych. Im węższa wiązka, tym dokładniej można skierować antenę na obiekt i tym dokładniej zostaną zmierzone współrzędne kątowe. Wąską charakterystykę promieniowania można łatwo uzyskać na krótszych falach, dlatego też stacje przeznaczone do dokładnego pomiaru współrzędnych pracują w paśmie centymetrowym. W zakresie fal milimetrowych dokładność pomiaru współrzędnych kątowych jest jeszcze większa.

Na dokładność pomiaru współrzędnych kątowych wpływa również konstrukcja układu antenowego. Mało sztywna konstrukcja może spowodować pojawienie się drgań anteny oraz zniekształcenia charakterystyki promieniowania. Duże zniekształcenia charakterystyki promieniowania mogą powstać w wyniku niedokładnego wykonania i montażu anteny.

2.3.4. Rozróżnialność.

Istnieje rozróżnialność stacji radiolokacyjnych w odległości i we współrzędnych kątowych.

a/ Rozróżnialnością stacji w odległości nazywamy tę minimalną odległość między obiektami znajdującymi się na tym samym azymucie, dla której są one obserwowane na ekranie wskaźnika, niezależnie jeden od drugiego. W przypadku zmniejszenia ich wzajemnej odległości zlewają się ze sobą.



Rys.7. Określenie rozróżnialności w odległości.

a/ - rzeczywiste położenie obiektów /celów/ 1 i 2;

b/ - zobrazowanie tych samych celów na ekranie wskaźnika z liniową podstawą czasu /typu A - zobrazowanie schematyczne/.

Jak widać z rys.7-a, sygnały odbite od dwu obiektów /celów/ oddalonych od siebie o Δr, wrócą do stacji z pewną różnicą w czasie, a mianowicie:

$$\Delta t = \frac{2\Delta r}{c} \qquad /22/$$

gdzie:

c - szybkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych.

Należy jednak wyjaśnić, że istnieje pewna minimalna odległość Δr_{min}, przy której jeszcze można wykryć każdy z obiektów oddzielnie; nazywamy ją właśnie rozróżnialnością w odległości. Odległości tej odpowiada pewien minimalny odcinek czasu t_r i wówczas otrzymamy:

$$\Delta r_{min} = \frac{c \cdot t_r}{2} \qquad /23/$$

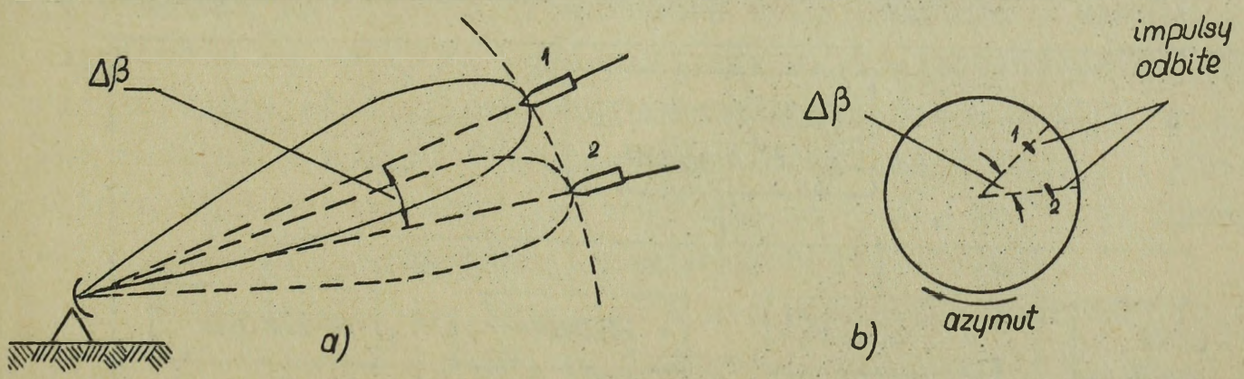
W przypadku, gdy krótkotrwałe impulsy odbite od tych obiektów /rys.7-b/ są odbierane przez urządzenia odbiorcze, którego pasmo przepuszczania wynosi Δf, wówczas rozróżnialność określana jest przez szerokość tego pasma, natomiast przy dostatecznie dużym paśmie przepuszczania wynoszącym:

$$\Delta f \geq \frac{1}{t_i} \qquad /24/$$

minimalna odległość będzie wyrażona przez czas trwania impulsu sondującego, wypromieniowanego przez nadajnik a mianowicie:

$$\Delta r_{min} = \frac{c \cdot t_i}{2} \qquad /25/$$

b/ Rozróżnialnością stacji we współrzędnych kątowych nazywamy tę najmniejszą odległość kątową między dwoma obiektami /celami/ znajdującymi się w jednakowej odległości od stacji, przy której można je jeszcze oddzielnie obserwować na ekranie wskaźnika stacji radiolokacyjnej /rys.8/.



Rys.8. Określenie rozróżnialności w azymucie.
a - rzeczywiste położenie celów /1 i 2/;
b - zobrazowanie schematyczne tych samych celów na ekranie wskaźnika z kołową podstawą czasu /typu P - panoramiczny/.

Jak widać z rys.8, sygnały odbite od dwu celów znajdujących się na dwu różnych liniach przecinających się pod kątem $\Delta\beta$/delta, beta/, można będzie wykryć oddzielnie wówczas, gdy szerokość wiązki antenowej będzie odpowiednio mała.

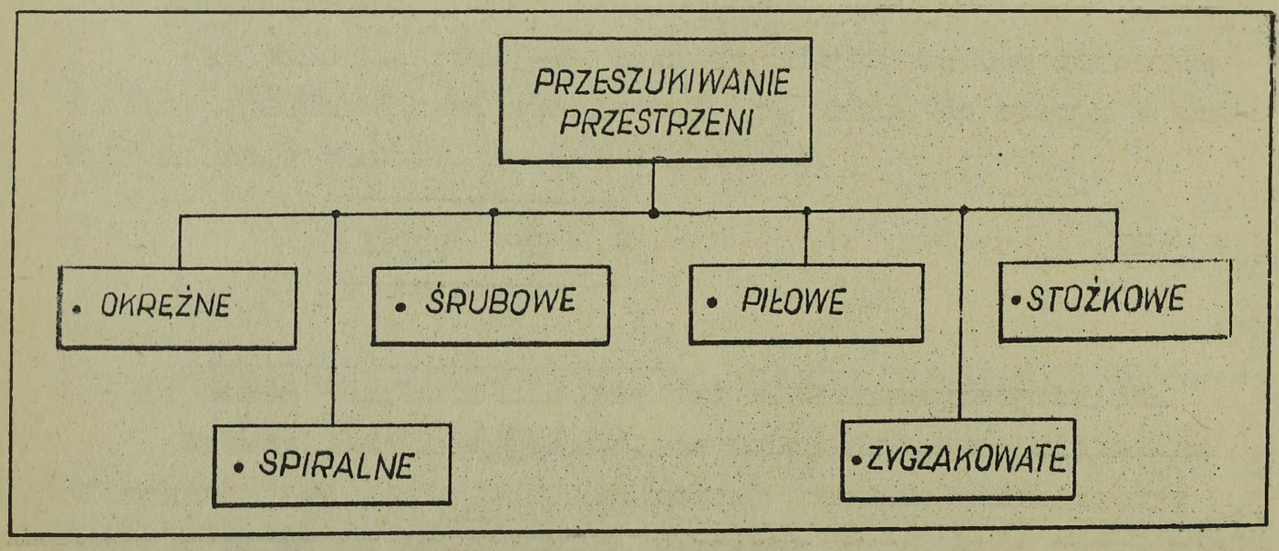
Rozróżnialność w azymucie określana jest szerokością wiązki w płaszczyźnie poziomej, natomiast rozróżnialność w kącie wzniesienia - szerokością wiązki w płaszczyźnie pionowej. A zatem, rozróżnialność we współrzędnych kątowych zależy od szerokości promieniowanej wiązki; im wiązka węższa tym lepsza rozróżnialność we współrzędnych kątowych.

2.3.5. Przeszukiwanie przestrzeni.

Aby wykryć obiekt /cel/ dokonuje się przeglądu czyli tzw. przeszukiwania przestrzeni z reguły drogą dookrężnego przemieszczania wiązki fal elektromagnetycznych, promieniowanej przez stację radiolokacyjną.

Do najczęściej stosowanych metod przeszukiwania przestrzeni zalicza się te, które podano na rys.9.

Przeszukiwanie okrężne /dookólne/ należy do najstarszych a zarazem najczęściej stosowanych metod przeszukiwania przestrzeni. Przeszukiwanie okrężne umożliwia określenie azymutu celu /obiektu/ i jak wiadomo polega ono na obrocie anteny wokół swej osi /w azymucie w kącie 360°/.



Rys.9. Podział radiolokacyjnych metod przeszukiwania przestrzeni /Przykłady/.

Metoda przeszukiwania okrężnego jest szeroko stosowana w radiolokacyjnych stacjach meteorologicznych, a zobrazowania obserwowanej przestrzeni są odwzorowane na ekranach wskaźników obserwacji okrężnej stacji radiolokacyjnych. Wskaźniki obserwacji okrężnej nazywane są również wskaźnikami typu P.

2.3.6. Uwagi. Oczywiście zostały tu wymienione tylko najbardziej zasadnicze charakterystyki taktyczno-techniczne stacji radiolokacyjnych. Natomiast takie charakterystyki taktyczne jak: odporność stacji na zakłócenia; dane eksploatacyjne itp, nie zostały powyżej omówione, ponieważ:

- zagadnienia celowych i przypadkowych zakłóceń stacji radiolokacyjnych stanowią obszerny i odrębny dział, wchodzący w zakres przeciwdziałania radioelektronicznego;
- zagadnienia obejmujące dane eksploatacyjne zostaną częściowo omówione w dalszej części skryptu, zaś dane eksploatacyjne nowoczesnych radiolokacyjnych stacji meteorologicznych używanych w WP nie będą w tym skrypcie podane ze względu na ich tajność.

2.4. Uogólnione przykładowe charakterystyki taktyczno-techniczne radiolokacyjnych stacji meteorologicznych.

W zależności od typu RSM mogą posiadać różne parametry taktyczno-techniczne. Radiolokacyjne stacje meteorologiczne mogą pracować na różnych długościach fal, jednakże z reguły pracują one w zakresie fal centymetrowych. Częstotliwość powtarzania impulsów sondujących waha się w granicach 400-1000 imp./sek. Moc nadajnika w impulsie może wynosić kilkaset kilowat. Czułość układu odbiorczego może być w granicach 5-8 . 10^{-13} W. Srednica anten parabolicznych stacji naziemnych 1,5 - 2,0 m.

Stacje naziemne mogą prowadzić śledzenie /automatyczne/ odbijacza kątowego, a zasięg tego śledzenia będzie zależny od długości krawędzi odbijacza. Na przykład jeśli długość krawędzi odbijacza kątowego będzie wynosić 400-500 mm, to zasięg śledzenia może wynosić ok.15-20 km, natomiast o krawędzi powyżej 500mm, zasięg śledzenia wynosi ponad 20 km. Zasięg automatycznego śledzenia radiosondy z rejestracją współrzędnych i danych meteorologicznych wynosi ok. 200 km.

W zależności od typu stacji, różne będą tzw. średnie błędy określania współrzędnych kątowych przy automatycznym śledzeniu radiosondy i odbijacza kątowego, mogą wynosić około 0,02 - 0,03. Natomiast średnie błędy określania odległości przy automatycznym śledzeniu radiosondy mogą wynosić ok.25-40 m, ale z reguły nie więcej. Z kolei przy pracy z odbijaczem kątowym, średnie błędy nie przekroczą 30 m.

W naziemnych stacjach meteorologicznych przewiduje się trzy rodzaje pracy sterowania anteną:

- śledzenie automatyczne;
- śledzenie ręczne;
- przeszukiwanie sektorowe /automatyczne/.

Szybkość ręcznego sterowania może wynosić:

- w azymucie: 5- 6-00 na sekundę; /stopnie z tysięcznych/;
- w kącie położenia: 2 - 3-00 na sekundę.

Parametry przeszukiwania sektorowego mogą wynosić:

- szerokość sektora 20^{o} x 20^{o};
- czas przeszukiwania ok. 20 -25 sek.

W stacjach mogą być wykorzystywane np. wskaźniki z liniową podstawą czasu o podziałce np. 2 km i o podziałce np. 30 km, jak również wskaźniki typu P i RH.

Układy liczące mogą być dostosowane do stałego i zmiennego czasu liczenia a dokładności tych układów są wysokie. Szybkość rejestracji danych meteorologicznych wynosi kilka sekund a współrzędnych sferycznych ok. 20-30 sek.

Napięcie zasilania RSM wynosi zwykle 220 V, a częstotliwość 400 Hz, moc pobierania 10-15 KW. Obsługa radiolokacyjnych stacji meteorologicznych składa się z reguły z 4-5 osób.

3. BUDOWA I ZASADA PRACY RADIOLOKACYJNYCH STACJI METEOROLOGICZNYCH

3.1. Podstawa działania urządzeń radiolokacyjnych

Zasadniczą podstawą działania wszelkich urządzeń radiolokacyjnych jest przede wszystkim wykorzystanie takich właściwości jak:

- zdolność odbijania się fal elektromagnetycznych o przeszkody znajdujące się na drodze rozprzestrzeniania tych fal;
- prostoliniowe rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych w ośrodkach jednorodnych;
- praktycznie stała i duża szybkość rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych o c = 300000 km/sek.

Powyższe zasadnicze właściwości fal radiowych nie zmieniają praktycznie swych parametrów w wypadku stosowania urządzeń radiolokacyjnych bez względu na porę dnia i roku oraz zmian atmosferycznych.

Reasumując można stwierdzić, że:

1. Zasada działania stacji radiolokacyjnej oparta jest na zjawisku odbicia fal elektromagnetycznych;
2. Określenie współrzędnych obiektu /celu/ polega na:
   - pomiarze czasu przejścia impulsu sondującego do obiektu i z powrotem /pomiar odległości/;
   - na własnościach kierunkowych anten stacji radiolokacyjnych /pomiar współrzędnych kątowych/;
3. Stacja radiolokacyjna spełnia dwie podstawowe czynności:
   - przeszukiwanie, kiedy obiekt /cel/ nie został jeszcze wykryty;
   - śledzenie, kiedy określone są w sposób ciągły współrzędne bieżące wykrytego obiektu /celu/.

3.2. Rodzaje pracy stacji radiolokacyjnych

W radiolokacji stosuje się dwa rodzaje pracy stacji służących do wykrywania obiektów lub określania ich współrzędnych, a mianowicie:

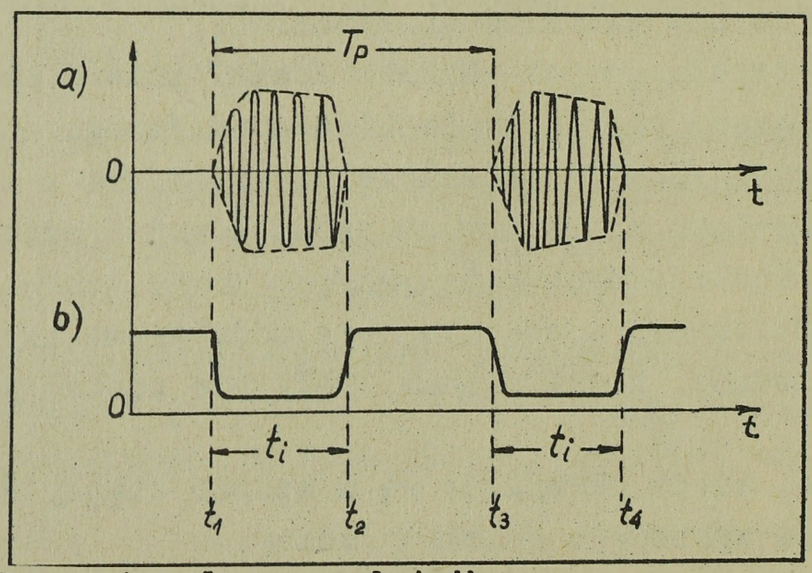
- pracę impulsową /system impulsowy/;
- pracę z falą ciągłą /system z promieniowaniem ciągłym/.

Ponieważ systemy impulsowe są stosowane w radiolokacyjnych stacjach meteorologicznych, wobec tego, niżej omówione zostaną zasady pracy tego systemu.

Specyficzna cecha charakteryzująca system impulsowy polega na tym, że nadajnik i odbiornik stacji radiolokacyjnej nie pracuje jednocześnie. Praca impulsowa polega na tym, że stacja radiolokacyjna w ciągu bardzo krótkiego czasu /w praktyce około mikrosekundy - t_i/ promieniuje energię elektromagnetyczną, a następnie w ciągu znacznie dłuższego okresu czasu $T_p - t_i$ odbiera sygnały odbite od obiektów /celów/. Proces ten przebiega okresowo z okresem powtarzania T_p. W czasie promieniowania energii przez nadajnik, odbiornik nie odbiera sygnałów. Osiąga się to przez celowe zmniejszenie na ten czas czułości odbiornika. Następnie w pracy nadajnika następuje przerwa, w czasie której odbiornik odbiera z normalną czułością.

Kolejność pracy nadajnika i odbiornika pokazano schematycznie na rys.10.

Z powyższych przebiegów wynika, że czas $t_i = t_2 - t_1$, czas ten nazywa się czasem trwania impulsu, a $t_3 - t_1 = T_p$ - okresem /czasem/ powtarzania przebiegu.



Rys. 10. Praca impulsowa nadajnika.

Ilość okresów powtarzania na sekundę nosi nazwę częstotliwości powtarzania f_p. Między okresem a częstotliwością powtarzania istnieje zależność:

$$T_p = \frac{1/\text{sek}/}{f_p} \qquad /26/$$

Impuls w czasie trwania t_i jest wypromieniowany w przestrzeń przez antenę nadawczą stacji radiolokacyjnej, osiąga obiekt, a następnie po odbiciu od niego przebiega drogę powrotną do anteny i zostaje odebrany przez odbiornik.

Cały ten przebieg nie może trwać dłużej niż przerwa między impulsami nadajnika $t_3 - t_2 = T_p - t_i$. Mierząc czas przebiegu sygnału odbitego można określić odległość do obiektu. Aby zapewnić dokładny pomiar odległości przy pracy impulsowej dążymy do uzyskania impulsu o kształcie prostokątnym.

Odległość obiektu w urządzeniach radiolokacyjnych określa się na podstawie równania:

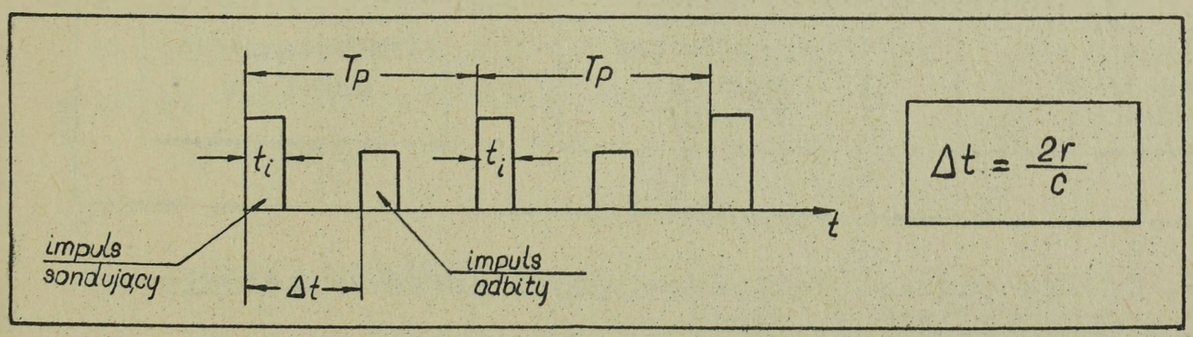
$$r = \frac{\Delta t}{2} \cdot c \qquad /27/$$

gdzie:

Δt - oznacza opóźnienie sygnału odbitego względem sygnału wypromieniowanego przez nadajnik;

c - szybkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych /radiowych/ w wolnej przestrzeni.

Pracę impulsową można uważać za specjalną modulację amplitudową /rys.11/. /Przy pracy z falą ciągłą stosuje się najczęściej modulację częstotliwości/.



Rys.11. Impulsowa metoda pomiaru odległości /schematycznie/.

Aby scharakteryzować ilościowo pracę impulsową, wyprowadza się pojęcie przerywistości i współczynnika zapełnienia. Przerywistością nazywa się stosunek okresu $T_p = T$ do czasu trwania impulsu:

$$S = \frac{T}{t_i} \qquad /28/$$

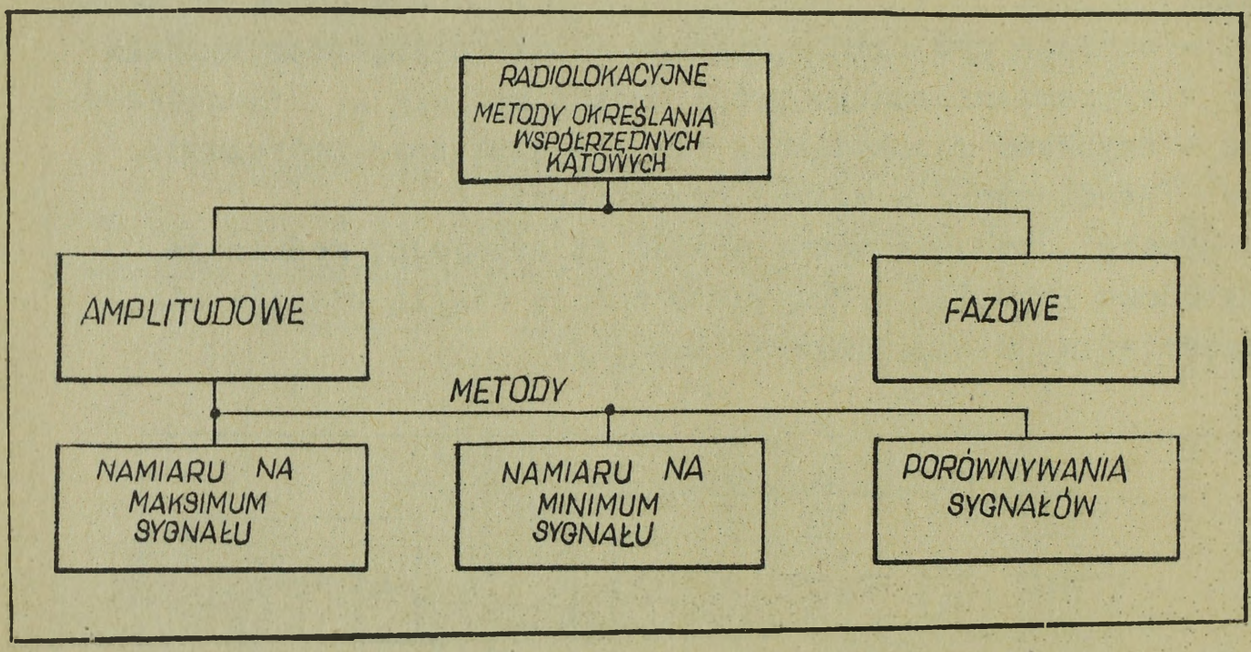
Współczynnikiem zapełnienia - nazywa się wielkość będącą odwrotnością przerywistości:

$$k = \frac{1}{S} = \frac{t_i}{T} = t_i \cdot f_p \qquad /29/$$

W praktyce wartość współczynnika zapełnienia zależy od przeznaczenia stacji i leży w granicach od kilku setnych części do kilku tysięcznych.

3.3. Metody określania współrzędnych kątowych

Przy określaniu współrzędnych kątowych, zawsze wykorzystuje się właściwości kierunkowe układu antenowego stacji radiolokacyjnej. Z tego względu metody określania współrzędnych kątowych są ściśle związane z techniką antenową. Metody określania współrzędnych kątowych dzielą się na amplitudowe i fazowe /rys.12/.



Rys.12. Ogólny podział radiolokacyjnych metod określania współrzędnych kątowych.

Metoda amplitudowa - polega na porównaniu amplitud sygnałów odbitych od obiektu;

Metoda fazowa - polega na pomiarze różnicy faz fal odbitych od obiektu i odebranych przez różne anteny.

Ogólnie biorąc, metody określania współrzędnych kątowych można podzielić wg często używanych określeń na:

1. Metodę maksymalnego sygnału.
2. Metodę minimalnego sygnału.
3. Metodę równych sygnałów.

Przy określaniu azymutu obiektu /celu/ stosowana jest najczęściej metoda maksymalnego sygnału i metoda równych sygnałów.

3.4. Podstawowa aparatura radiolokacyjnych stacji meteorologicznych

Pomijając szczegółowe omówienie schematów blokowych i ideowych radiolokacyjnych stacji meteorologicznych, niżej omówione zostaną w sposób ogólny podstawowe układy typowych stacji meteorologicznych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na urządzenia nadawczo-odbiorcze oraz układy wskaźnikowe. W skrypcie niniejszym nie będą natomiast omawiane RSM będące na wyposażeniu LWP, a to ze względu na tajność dokumentacji.

x

x x

W skład podstawowej aparatury radiolokacyjnych stacji meteorologicznych wchodzą:

- układ nadawczy;
- układ odbiorczy;
- układ antenowo-przesyłowy;
- układ pomiaru odległości i wskaźników;
- układ sterowania anteną;
- układ liczący impulsy danych meteorologicznych;
- układ rejestracji i przekazywania danych;
- układ zasilania elektrycznego.

Omówimy pokrótce budowę i przeznaczenie poszczególnych układów wchodzących w skład RSM.

3.4.1. Układ nadawczy

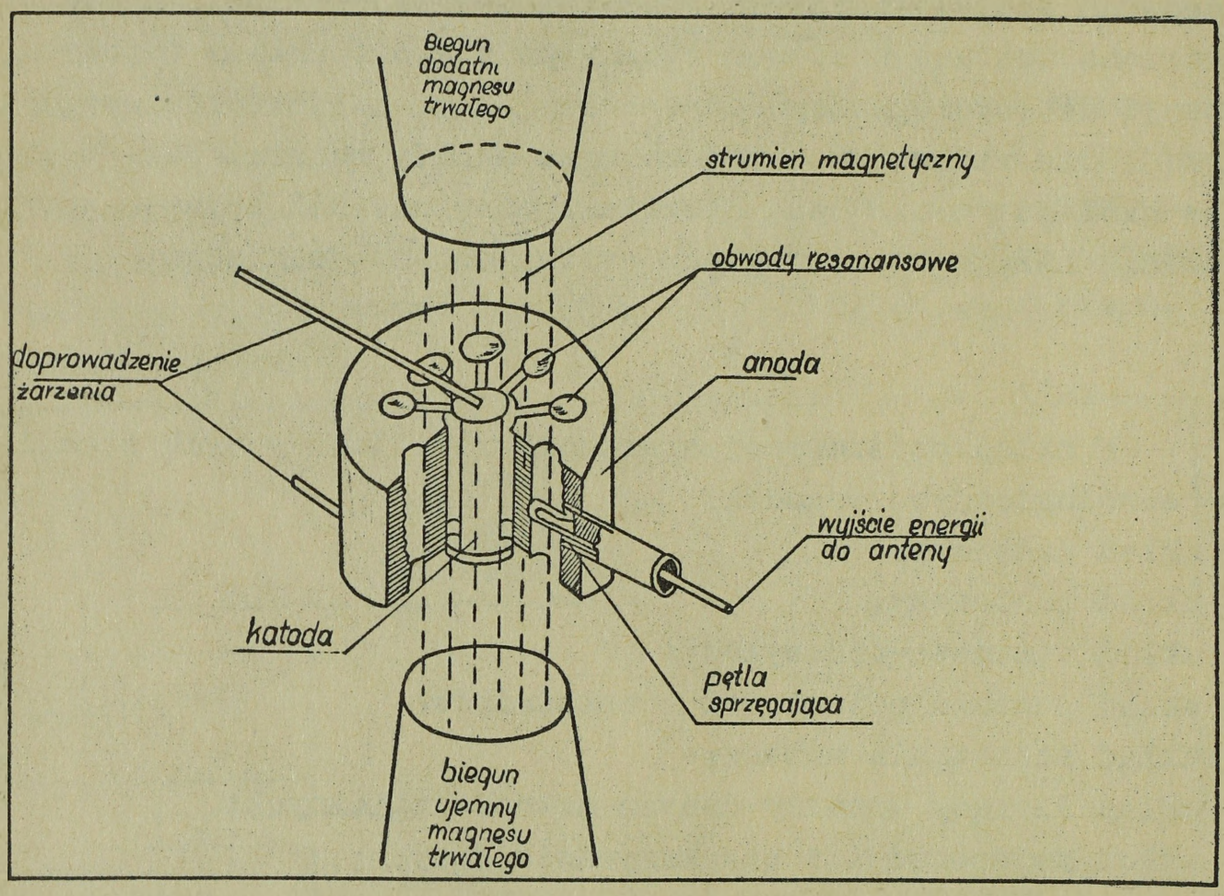
Zadaniem układu nadawczego jest wypracowanie krótkotrwałych impulsów energii elektromagnetycznej wielkiej częstotliwości. Nadajnik radiolokacyjny jest zatem generatorem impulsów u.w.cz. posiadający dużą moc. Praca impulsowa nadajnika jest możliwa dzięki tzw. modulatorowi i podmodulatorowi, stanowiącym podstawowe elementy składowe nadajnika.

Na rys.15 przedstawiono uproszczony schemat blokowy nadajnika z podmodulatorem i modulatorem.

W zależności od długości fali stosowane są różne typy generatorów. W danym wypadku w radiolokacyjnych stacjach

meteorologicznych, pracujących na falach centymetrowych stosowane są,jak wspomniano wyżej,lampy elektronowe-magnetrony.

Magnetron - jest lampą elektronową o specjalnej konstrukcji, która różni się w sposób istotny od konstrukcji ogólnie znanych lamp elektronowych /rys.13/.



Rys.13. Uproszczona budowa magnetronu.

Magnetron jest to w istocie lampa elektronowa - dioda z obwodem resonansowym.

Omówimy pokrótce budowę magnetronu, zakładamy jednak, że Czytelnik zna ogólną budowę i zasadę działania diody. Pomijając dla uproszczenia omówienie zasady rozkładu pola elektromagnetycznego w diodzie, dodajmy, że w magnetronie również działa pole elektryczne, przyciągające elektrony emitowane przez katodę magnetronu do anody.

W tym wypadku jednak, jak widać z powyższego rysunku, inna jest budowa diody będącej częścią składową magnetronu. Mianowicie anoda magnetronu jest wykonana w postaci masywnego pierścienia miedzianego, w którym znajduje się szereg

otworów połączonych szczelinami z przestrzenią otaczającą katodę. Stąd też tego typu magnetrony nazywane są wielownękowymi. Katoda magnetronu ma postać cylindra, umieszczonego w środkowym otworze anody magnetronu. Do anody i katody doprowadza się napięcie stałe w taki sposób, że biegun dodatni znajduje się na anodzie, a biegun ujemny na katodzie. Przez katodę przepływa prąd żarzenia, który ją nagrzewa, powodując emisję elektronów.

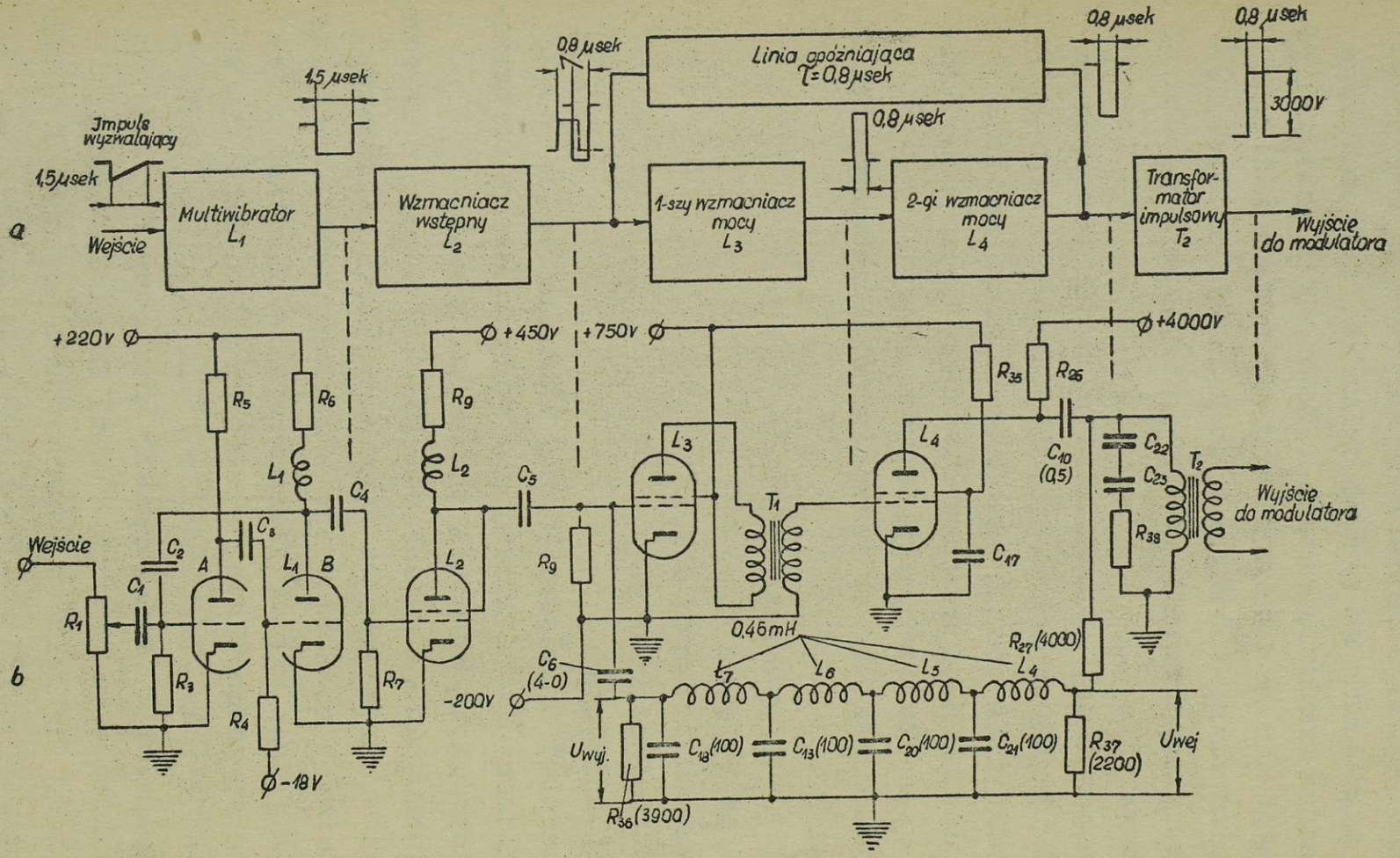
Jak już wspomniano, podmodulator służy do wzmocnienia i ukształtowania impulsów modulujących. Zazwyczaj taki podmodulator posiada kilka stopni wzmocnienia mocy. Spośród różnych typów, najbardziej szeroko stosowany jest podmodulator ze wzmacniaczem sterowanym linią sztuczną.

W skład podmodulatora ze wzmacniaczem sterowanym linią sztuczną wchodzą:

- multiwibrator wyczekujący /L_1/;
- wzmacniacz wstępny /L_2/;
- 1-szy wzmacniacz mocy /L_3/;
- 2-gi wzmacniacz mocy /L_4/;
- linia opóźniająca;
- transformator impulsowy /źródło zasilania/.

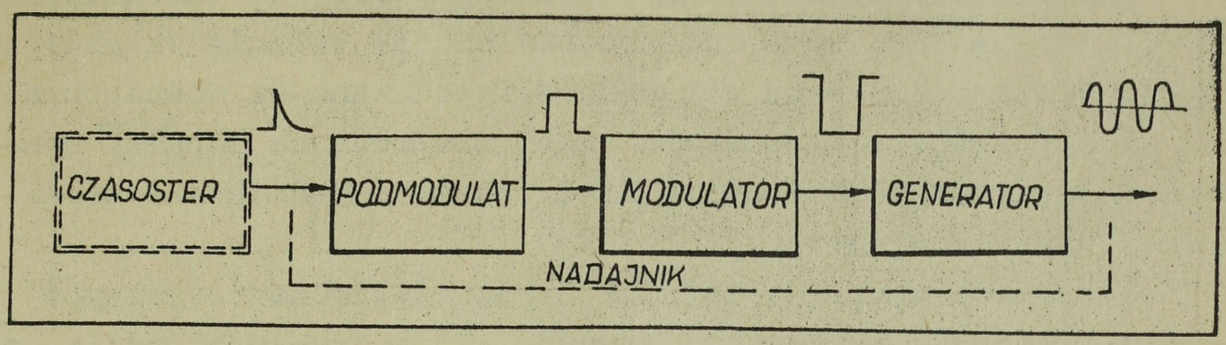
Schemat blokowy /a/ i ideowy /b/ podmodulatora ze wzmacniaczem sterowanym linią sztuczną podano na rys.14.

Z przedstawionego na rys.14 schematu blokowego i ideowego podmodulatora ze wzmacniaczem sterowanym linią sztuczną /opóźniającą/ można zorientować się z jakich elementów elektronicznych zbudowany jest układ. Podstawowymi elementami z jakich zbudowany jest podmodulator sterowany linią sztuczną są: lampy elektronowe triody /L_1/ i pentody /L_2, L_3, L_4/, kondensatory, oporniki i transformator impulsowy /T_2/. Warto wyjaśnić, że na schemacie ideowym podane są oznaczenia np. C_{18}/100/, to znaczy, że jest to kondensator o pojemności 100pF. Podobnie oznaczono oporniki np. R_{37}/2200/, to znaczy, że oporność wynosi 2200 omów.



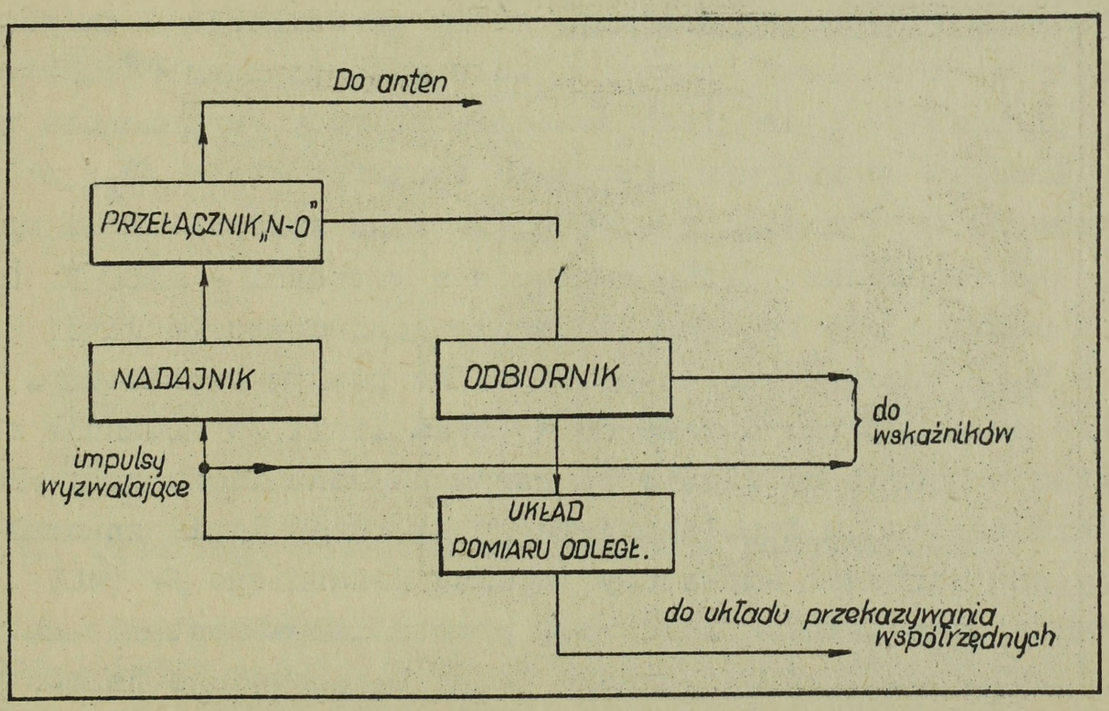
14)

Rys.14. Schemat blokowy /a/ i ideowy /b/ podmodulatora sterowanego linią sztuczną.



Rys.15. Uproszczony schemat nadajnika z modulatorem i podmodulatorem

Do urządzenia zwanego podmodulatorem podawane są impulsy wyzwalające z odpowiednią częstotliwością powtarzania; wypracowane w układzie pomiaru odległości doprowadzane poprzez czasoster /rys.16/.



Rys.16. Schemat blokowy połączeń poszczególnych układów z nadajnikiem radiolokacyjnym.

Pod wpływem tych impulsów wyzwalających, w podmodulatorze kształtują się impulsy o odpowiednim czasie trwania /zwykle ok. 0,8-1,5 μsek/, które są wzmacniane i podawane do modulatora.

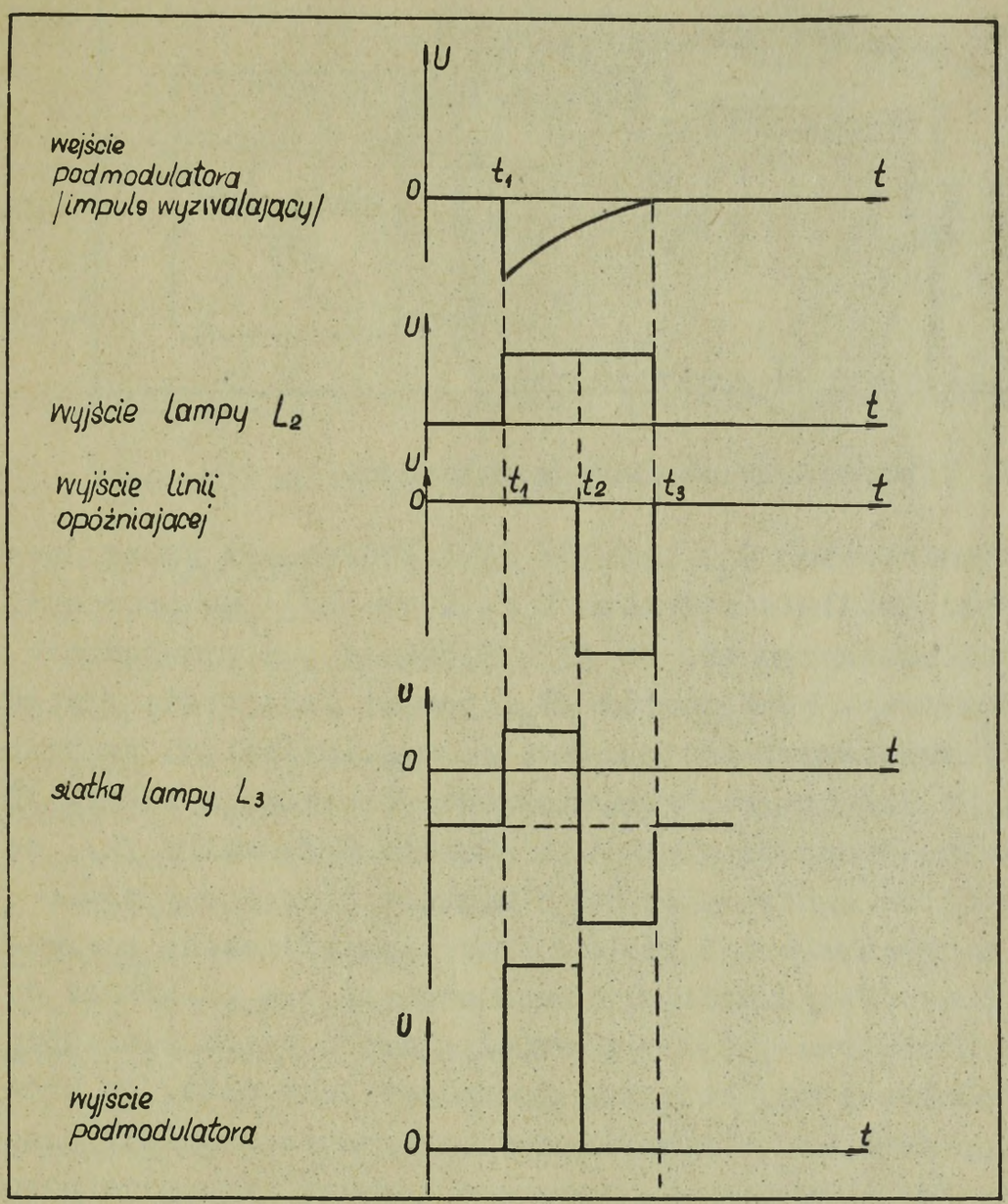
W modulatorze impulsy są przekształcane na impulsy wysokiego napięcia o odpowiedniej amplitudzie i podawane z kolei do generatora /magnetronu/.

Magnetron generuje impulsy drgań elektromagnetycznych w czasie trwania np. 1 μsek z odpowiednią częstotliwością powtarzania.

Uproszczoną zasadę działania podmodulatora można zilustrować w oparciu o przebiegi napięciowe, przedstawione na rys.17.

Jak wynika z rys.14 z czasosteru jest podany impuls wyzwalający, który wyzwala okresowo multiwibrator. Pod wpływem tego impulsu multiwibrator generuje impuls prostokątny w odpowiednim czasie trwania. Ujemny impuls z wyjścia multiwibratora /L_1/ jest podawany na wzmacniacz wstępny, który go wzmacnia i zmienia fazę, nie wpływając na czas trwania. Czoło tego impulsu blokowuje lampy pierwszego i drugiego wzmacniacza mocy /w momencie t_1/.

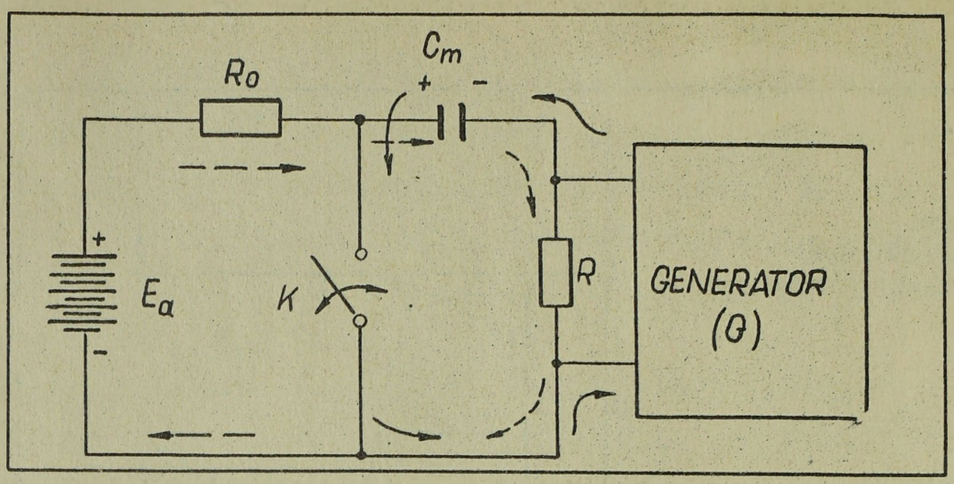
Wówczas na wtórnym uzwojeniu transformatora /T_2/ pojawia się dodatni skok napięcia + 3000 V_1, a na wejście linii opóźniającej jest podawane ujemne napięcie o wartości - 1200 V. Od tej chwili zaczyna się kolejne ładowanie kondensatorów linii /C_{18} - C_{20}/, poczynając od prawego. Po pewnym czasie /np. 0,8μsek/ ujemne czoło impulsu dotrze do wyjścia linii /w momencie t_2/ i zostanie podane na siatkę pierwszego wzmacniacza mocy /L_3/. Ponieważ amplituda impulsu ujemnego na końcu linii znacznie przewyższa wartości amplitudy impulsu dodatniego /+ 240V/, działającego na siatce lampy L_3, przeto lampa zostanie natychmiast zablokowana. Zablokowanie lampy L_3 spowoduje jednocześnie zablokowanie lampy L_4 drugiego wzmacniacza mocy, co jest jednoznaczne z zakończeniem trwania impulsu na wyjście podmodulatora. Wobec tego lampy wzmacniacza mocy przewodzą zaledwie w czasie 0,8 μsek, mimo, że długość impulsu wynosi 1,5 μsek. Czas trwania impulsu na wyjściu podmodulatora będzie wobec tego dokładnie równy czasowi opóźnienia /t_o/ linii opóźniającej.



Rys.17. Przebiegi napięciowe w układzie podmodulatora.

Jak już powiedziano, generator pracuje impulsowo, dzięki modulatorowi. Aby jednak uzyskać impulsy dużej mocy ze źródła o stosunkowo małej mocy, potrzebna energia jest powoli gromadzona w modulatorze w czasie przerw między impulsami a następnie szybko zużywana w czasie trwania impulsu.

Aby zrozumieć ogólną zasadę pracy takiego modulatora, posłużymy się jego uproszczonym schematem, jaki przedstawiony jest na rys.18.



Rys.18. Uproszczony schemat modulatora.

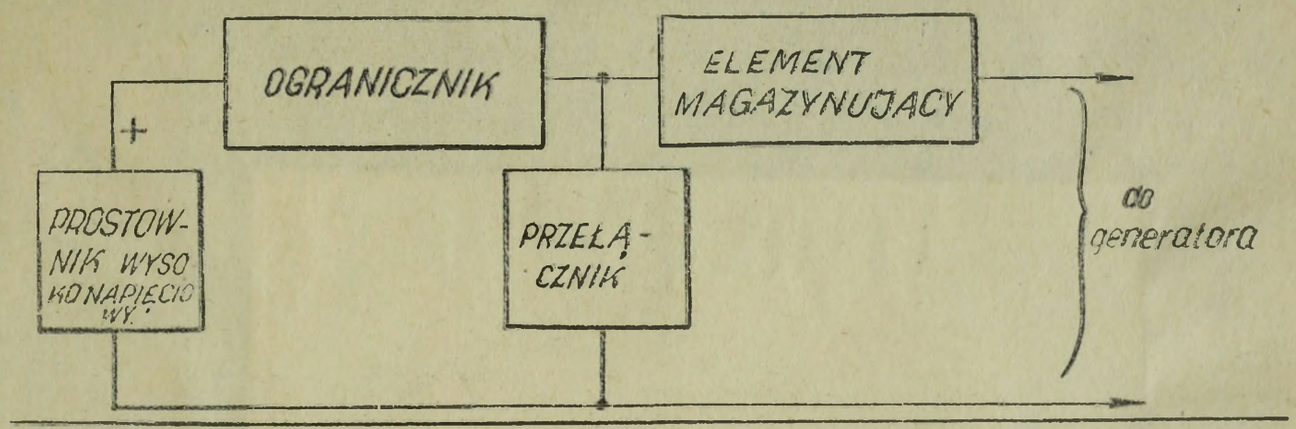
Kondensator C_m /rys.18/ jest podłączony przez oporność Ro i R do źródła zasilania /E_a/. Równolegle do oporności R jest podłączony generator /G/. W czasie gdy przełącznik /k/ jest rozwarty, kondensator /C_m/ powoli ładuje się /droga prądu ładującego jest pokazana na rys.18 liniami przerywanymi/. Po naładowaniu kondensatora do napięcia źródła /E_a/, w okreńlonej chwili następuje zwarcie wyłącznika /k/, co powoduje, że kondensator /C_m/ zostaje podłączony równolegle do generatora i szybko traci zmagazynowaną energię. W tym czasie generator wytwarza drgania u.w.cz. Przez oporność R przepływa jedynie niewielka część prądu rozładowującego, ponieważ wielkość tej oporności jest duża. Po krótkim okresie czasu - równym czasowi trwania impulsu, przełącznik /k/ ponownie się rozwiera i znowu następuje powolne ładowanie kondensatora magazynującego itd/.

Należy jednak wiedzieć, że omawiany wyżej przełącznik, nie jest jakimś elementem mechanicznym lecz może to być np. trygatron lub inna tego typu lampa elektronowa.

Bardzo ciekawa jest również sama budowa modulatora, wobec czego poświęcimy mu więcej uwagi /rys.19/.

Jak widać ze schematu /rys.19/, podstawowymi elementami modulatora są:

- źródło napięcia anodowego /prostownik wysokonapięciowy/;
- element magazynujący;
- ogranicznik;
- przełącznik.



Rys.19. Schemat blokowy modulatora.

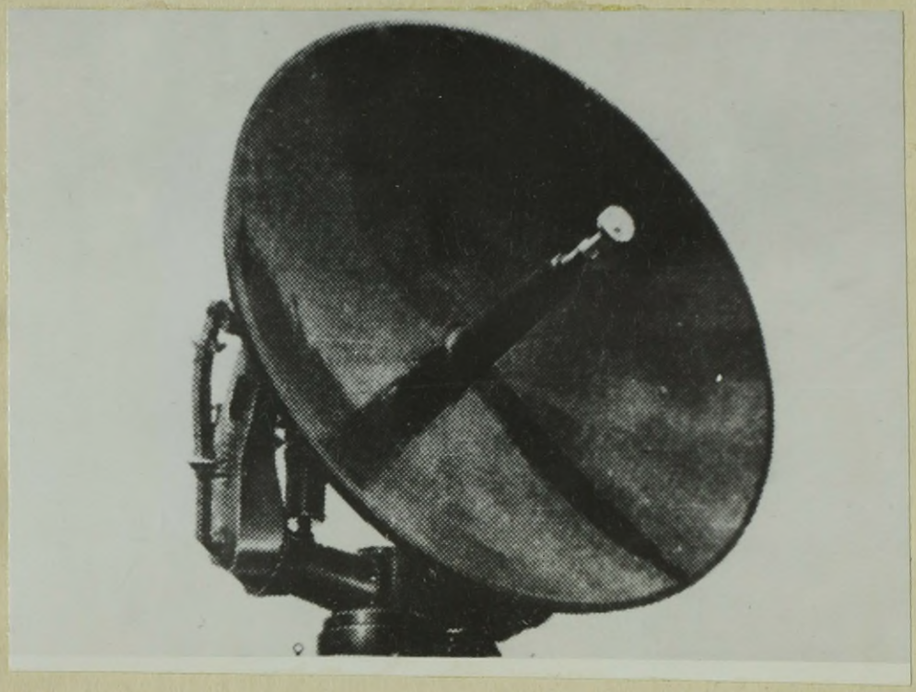
Element magazynujący - pozwala uzyskać krótkotrwałe impulsy dużej mocy, wykorzystując przy tym źródło napięcia anodowego o stosunkowo małej mocy. Elementem magazynującym może być: kondensator, dławik z rdzeniem żelaznym, linia sztuczna itp.
Ogranicznik - służy do ograniczenia prądu ładującego element magazynujący i zabezpiecza źródło przed zwarciem w czasie rozładowywania elementu magazynującego. Ogranicznikiem może być odpowiedni dławik, lub duża oporność /ok. 5-10 K Ω /;
Przełącznik - jest bardzo ważnym elementem modulatora, bowiem zawiera on okresowo na bardzo krótki odcinek czasu obwód wysokiego napięcia. W tym czasie, pod wpływem wysokiego napięcia, płynie przez przełącznik duży prąd. W modulatorach stosowane są takie przełączniki jak: iskiernik obrotowy, iskiernik nieruchomy tzw, trygatron, lub odpowiednia lampa elektronowa.

Magnetrony stosowane w stacjach radiolokacyjnych, zostały omówione poprzednio.

3.5. Układ antenowo-przesyłowy.

Układ składa się z anteny, linii przesyłowej i przełącznika antenowego zwanego przełącznikiem N-O /nadawanie-odbiór/. Często można spotkać się z innym podziałem, mianowicie takim, że przełącznik N-O omawiany jest wraz z układem odbiorczym, ale oczywiście nie ma to w tym wypadku specjalnego znaczenia.

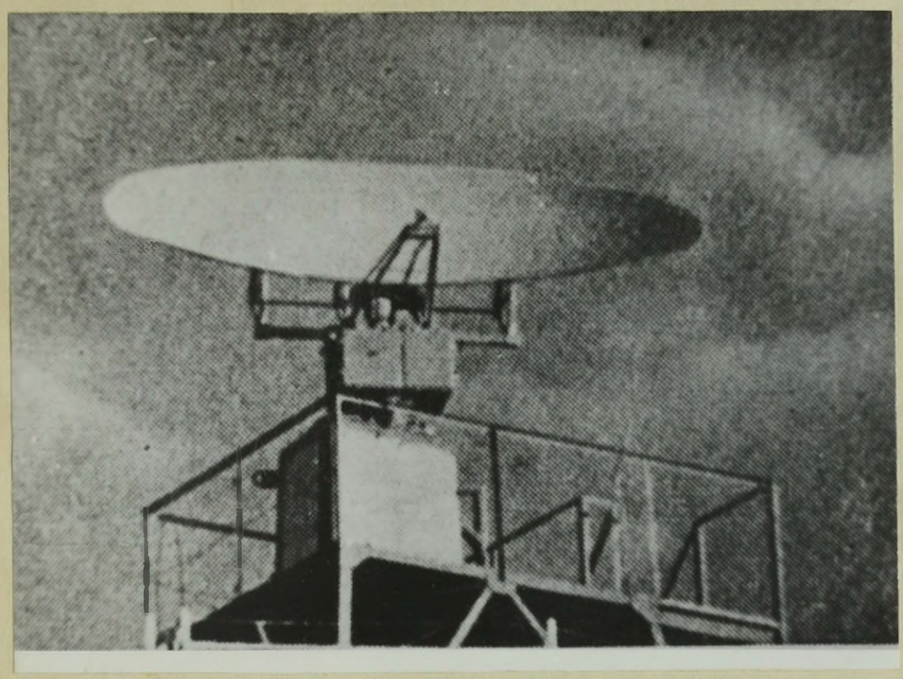
Urządzenia antenowe radiolokacyjnej stacji meteorologicznej, a konkretnie mówiąc anteny tych stacji mogą być różnej konstrukcji. Do typowych anten stosowanych w RSM zaliczamy anteny paraboliczne.

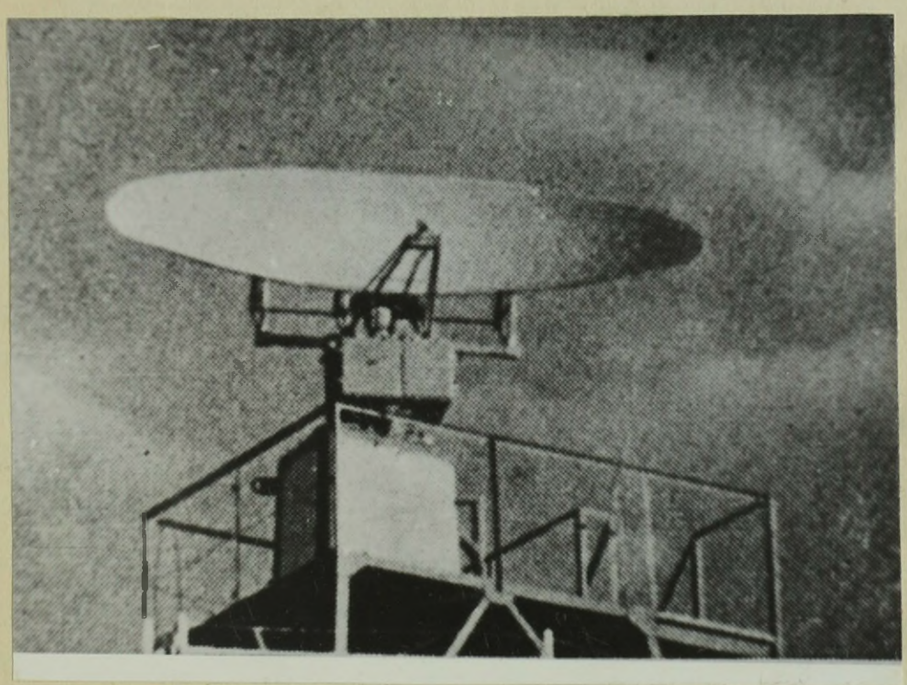


Rys.20. Antena RSM - paraboloida obrotowa.

Anteny RSM mogą być instalowane na budynkach ośrodków meteorologicznych, jak również mogą być umieszczane na pojazdach mechanicznych, stanowiących całość radiolokacyjnej stacji meteorologicznej.

Jak wiadomo, długości fal, odpowiadające zakresowi ultrawielkiej częstotliwości, są tak małe w porównaniu z wymiarami anten RSM, że dla koncentracji energii tych fal możliwe jest stosowanie układów podobnych do optycznych, a mianowicie anten powierzchniowych w postaci reflektorów. Głównie stosowane są zatem reflektory paraboliczne w postaci paraboloidy obrotowej /rys.20/ oraz paraboloidy cylindrycznej /rys.21/.



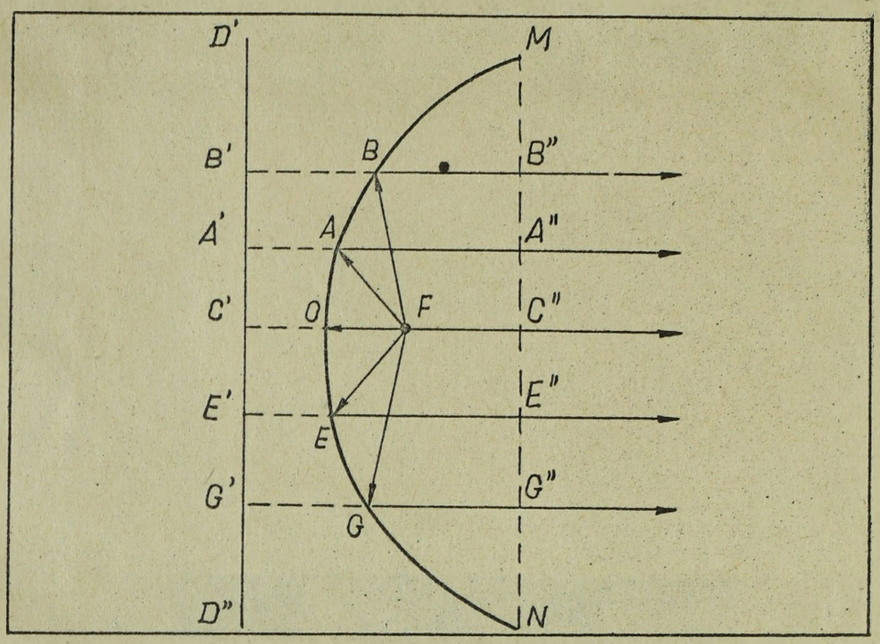


Rys.21. Anteny RSM - Paraboloidy cylindryczne.

W reflektorach o kształcie paraboloidy obrotowej, element promieniujący powinien być możliwie jak najmniejszy i znajdować się dokładnie w ognisku paraboloidy.

W przypadku paraboloidy cylindrycznej, jako elementy promieniujące używane są dipole półfalowe, rozmieszczone wzdłuż linii ogniskowej.

Aby poznać zasady działania paraboloidy obrotowej, posłużmy się rysunkiem 22.



Rys. 22. Zasada odbijania promieni przez parabole.

Parabola jest miejscem geometrycznym punktów jednakowo odległych od ogniska F i linii D´D``- zwanej kierownicą /rys.22/. Stąd też:

FA = AA, FO = C`O, FB = B`B, itd.

Fale wychodzące z ogniska padają na reflektor paraboliczny i odbijają się od niego, zgodnie z własnościami paraboli, jako wiązka promieni równoległych. Wskutek tego fala kulista zmienia się w płaską. Fakt ten tłumaczy się tym, że fale znajdujące się w płaszczyźnie wylotowej anteny MN posiadają we wszystkich punktach tę samą fazę, gdyż przebyły równą drogę od elementu promieniującego do danej płaszczyzny.

Rzeczywiście, zgodnie z przytoczonymi powyżej równościami, drogi fal wynoszą:

FO = OC" = C`O + O C" = C`C";

FA = AA" = A`A + AA" = A`A";

FB = BB" = B`B + BB" = B`B";

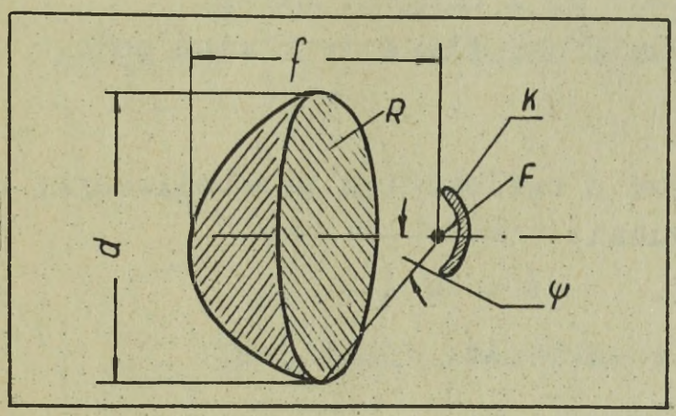
ale ponieważ: C`C" = A`A" = B`B" = ..., to w płaszczyźnie wylotowej anteny NM występuje fala synfazowa, a równoległość jej promieni charakteryzująca falę płaską

jest oznaką dużej kierunkowości promieniowania.

Reflektor paraboliczny charakteryzuje się takimi parametrami jak:

- ogniskową /f/;
- średnicą wylotu reflektora /d/, albo kątem rozwarcia / Ψ /, który jest określony jednoznacznie przez stosunek:

$$\Psi = \frac{f}{d}$$



Rys.23. Rysunek pomocniczy do określenia parametrów reflektora parabolicznego.

F-ognisko, R-reflektor paraboliczny, K-reflektor elementu promieniującego.

Do innych wielkości charakteryzujących anteny paraboliczne zaliczamy:

- współczynnik kierunkowości anteny określamy przez stosunek powierzchni wylotowej reflektora:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

do kwadratu długości fali, albo też przez stosunek d/λ tzn:

$$D_A = K_2 \frac{A}{\lambda}$$

gdzie: K_2 - współczynnik proporcjonalności, równy dla anteny z reflektorem parabolicznym 6-8.

Aby otrzymać dostatecznie wąską wiązkę, należy średnicę wylotu reflektora przyjmować około 10-20 razy większą od długości fali.

Na podstawie danych doświadczalnych opracowane zostały wzory na szerokość wiązki w stopniach w płaszczyźnie elektrycznej i magnetycznej:

$$\Theta_E^\circ = 80 \frac{\lambda}{d} \qquad \Theta_H^\circ = 72 \frac{\lambda}{d}$$

gdzie: λ - długość fali;
d - średnica wylotu reflektora, wyrażona w tych samych jednostkach co i długość fali;
72-80 - współczynnik określane rozkładem pola.

PRZYKŁAD

Dana jest antena z reflektorem parabolicznym, którego średnica wylotowa wynosi:

$$d = 10 \lambda$$

Współczynnik kierunkowości równy jest:

$$D_A = K_2 \frac{A}{\lambda^2} = K_2 \frac{\pi d^2}{4 \lambda^2} \qquad 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^2 \approx 550$$

Szerokość wiązki w płaszczyźnie elektrycznej i magnetycznej wynosi odpowiednio:

$$\Theta_E^\circ = 80 \frac{\lambda}{d} = \frac{80}{10} = 8^\circ$$

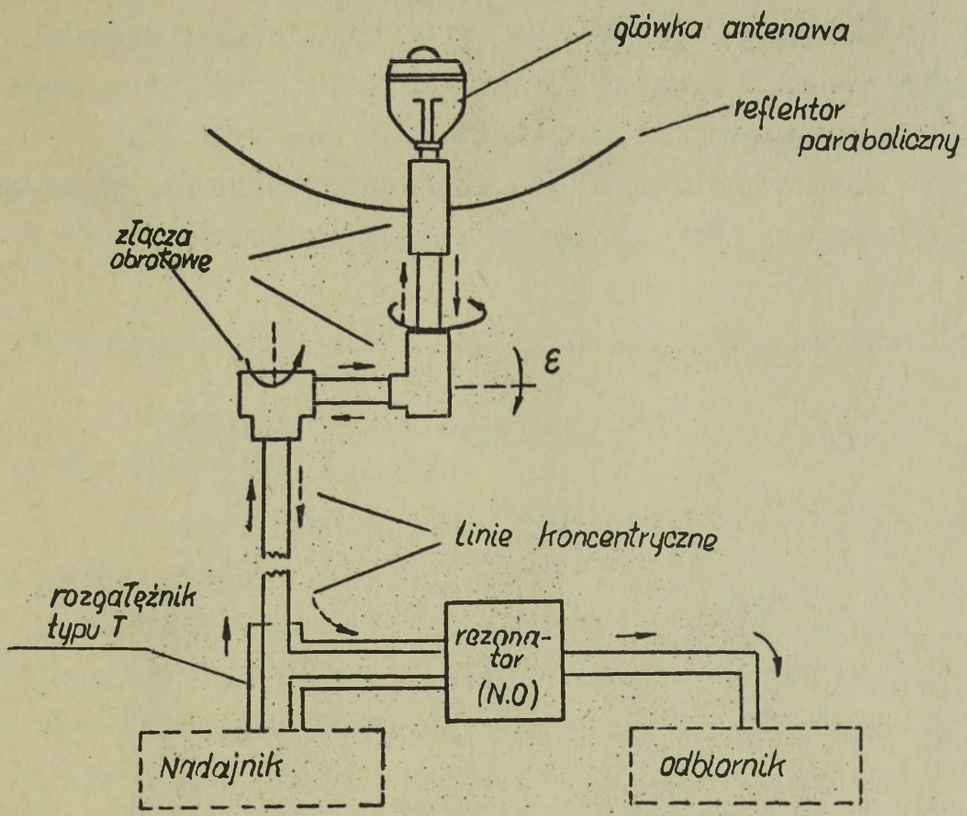
$$\Theta_H^\circ = 72 \frac{\lambda}{d} = \frac{72}{10} = 7{,}2^\circ$$

x

x x

Omawiając budowę anteny parabolicznej wypada dodać, że w jej ognisku znajduje się główka antenowa.
Zasadniczymi elementami główki antenowej jest półfalowy dipol promieniujący i metalowa tarcza odbijająca /przeciwreflektor/ umieszczone w obudowie z materiału dielektrycznego na wysoką częstotliwość. Główka antenowa obracana jest z dużą szybkością za pomocą specjalnego silnika. Antena może obracać się również w azymucie o 360° a w elewacji w zakresie 90°.

Schemat blokowy układu antenowego z linią przesyłową pracującą na falach centymetrowych ilustruje rys.24.



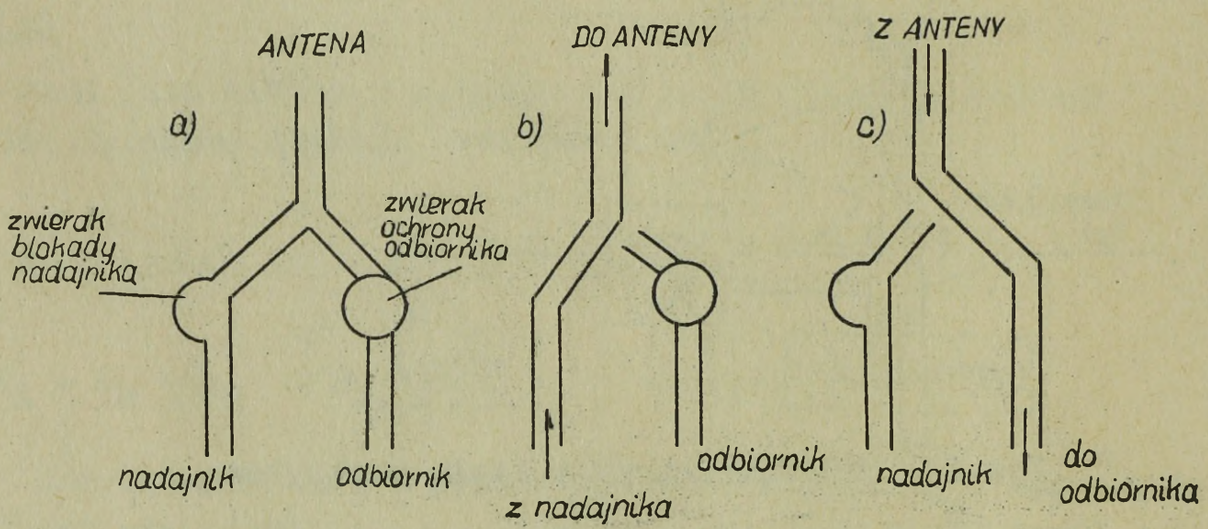
Rys.24. Układ antenowy z linią przesyłową.

Przełącznik antenowy umożliwia wykorzystanie jednej i tej samej anteny do celów nadawania i odbioru. Aby jednak przełącznik N-O mógł spełniać należycie swe zadanie, przy dużej częstotliwości powtarzania impulsów sondujących, dochodzącej do kilku tysięcy herców, musi on być specjalnej konstrukcji.
A więc w tym wypadku nie może być to przełącznik mechaniczny, który zawsze posiada znaczną bezwładność zadziałania.

Zadanie szybkiego przełączania mogą wykonać jedynie przełączniki elektronowe, nie posiadające takiej bezwładności co przełączniki mechaniczne, a więc muszą to być przełączniki działające natychmiastowo. Podkreślmy, że używając określenia "przełącznik" mamy na myśli jedynie pewne podobieństwo czynnościowe do przełącznika mechanicznego.

Podstawową częścią składową przełącznika antenowego jest specjalna lampa gazowana wyładowcza, zwana zwierakiem gazowanym.

Zwierak gazowany umieszczony jest na linii antenowej, to jest w jej obwodzie elektrycznym, między odbiornikiem i nadajnikiem z jednej strony, a anteną z drugiej, w sposób taki, w jaki schematycznie przedstawiono na rys.25. Przełączniki antenowe mogą mieć różną konstrukcję, a to w zależności od tego, jaką linię antenową zastosowano w stacji.

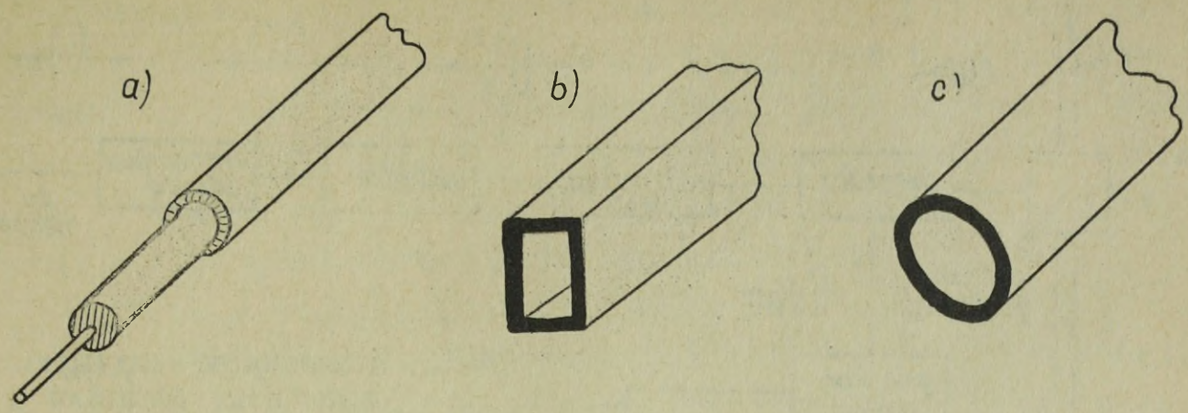


Rys.25. Zasada działania przełącznika antenowego:

a-umieszczenie zwieraków, b-energia płynie z nadajnika do anteny, c-sygnał odbity przechodzi do odbiornika.

Antena jest połączona z nadajnikiem sztywną linią przesyłową. Linia ta posiada trzy złącza obrotowe: azymutu, kąta położenia i szybkoobrotowe złącze główki antenowej. We współczesnych stacjach RSM stosuje się głównie dwa rodzaje linii antenowych a mianowicie: Linie współosiowe i linie falowodowe /rys.26/.

Oczywiście nie jest to reguła, bowiem stosowanie odpowiednich linii przesyłowych uzależnione jest od wielu czynników. Jeśli chodzi o linie współosiowe to mogą one być różnej konstrukcji, podobnie jak i falowody, które mogą być prostokątne, kwadratowe, kołowe, eliptyczne i inne. Zarówno linie współosiowe jak i falowodowe podlegają specjalnym procesom technologicznym, szczególnie zaś falowody.



Rys.26. Linie antenowe /przesyłowe/, współosiowe /a/ i falowodowe /b,c/.

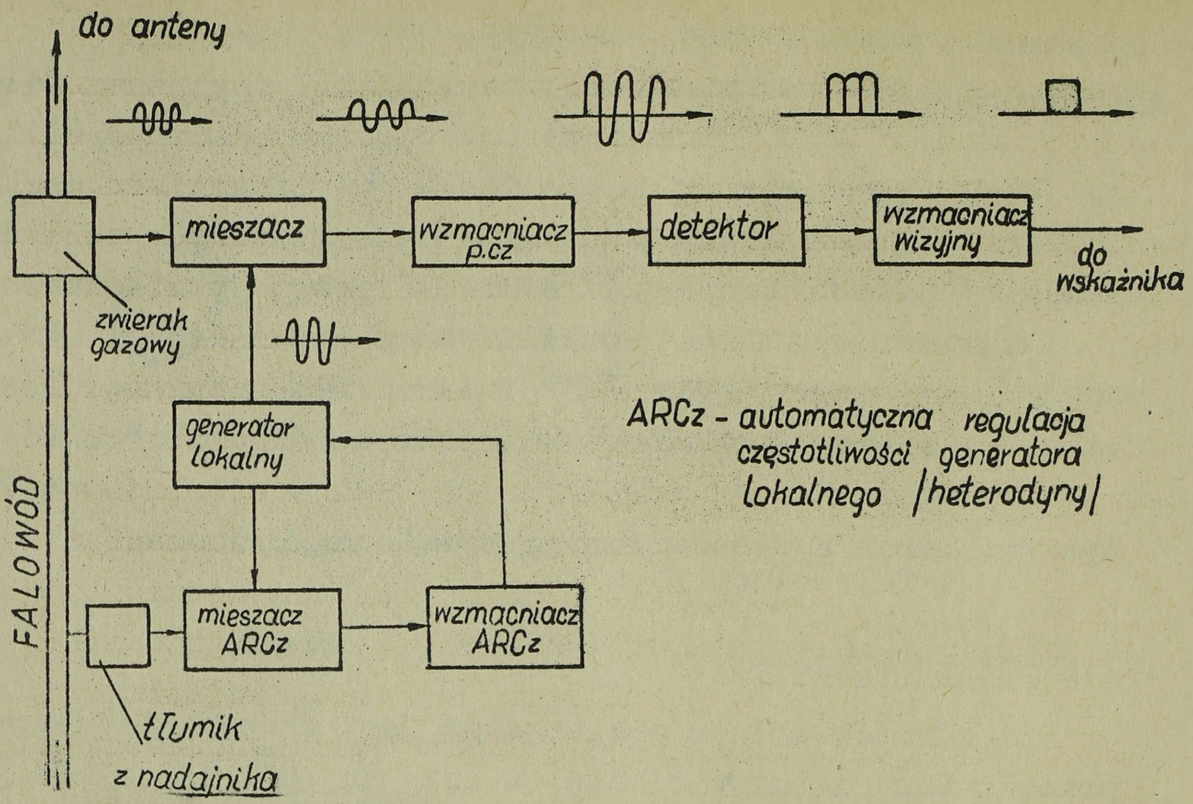
3.6. Układ odbiorczy.

Zadaniem układu odbiorczego jest wzmocnić odebrane przez antenę impulsy odbite od obiektu, przekształcić je w impulsy wizyjne, nadające się do obserwacji na wskaźniku. Impulsy wizyjne są wzmacniane do odpowiedniej wielkości, aby zapewnić właściwą pracę układu pomiaru odległości, układu sterowania anteną i układu liczącego, jak również w niektórych typach stacji również układu pomiaru współrzędnych kątowych. Uproszczony schemat blokowy odbiornika radiolokacyjnego podano na rys.27.

Jak wiadomo, sygnały echa radiolokacyjnego, przechodzące od odległych i niejednokrotnie małych obiektów są bardzo słabe. Dla przykładu podajmy, że moc sygnału odbitego /od małych i odległych obiektów/ ma na wejściu odbiornika wartość rzędu ok. 10^{-13}W, czyli jest to moc, równa jednej dziesięciomilionowej części mikrowata.

Dlatego też odbiorniki radiolokacyjne muszą być bardzo czułe oraz muszą dawać bardzo duże wzmocnienie. Omówimy z kolei zasadę pracy typowego odbiornika radiolokacyjnego.

Sygnały echa przychodzą do podzespołu odbiornika, zwanego mieszaczem, w którym następuje przemiana częstotliwośc sygnału echa. Do tego celu służy specjalny generator lokalny zbudowany na lampie elektronowej zwanej klistronem. Wytwarza ona napięcie o częstotliwości sygnału echa



Rys.27. Uproszczony schemat blokowy odbiornika radiolokacyjnego.

radiolokacyjnego. Napięcie echa, współdziałając w mieszaczu z napięciem generatora lokalnego, daje w wyniku napięcie o częstotliwości mniejszej, będącej częstotliwością różnicową obu napięć. Konieczność przemiany częstotliwości sygnału echa wynika stąd, że istnieją trudności z otrzymaniem wzmocnienia na częstotliwości setek i tysięcy milionów herców, a także z uzyskaniem szerokiego pasma przepuszczania odbiornika. Dlatego też, zanim sygnał echa zostanie wzmocniony, jego częstotliwość musi być zmieniona, co osiąga się właśnie w mieszaczu za pomocą napięcia otrzymywanego z generatora lokalnego.

Na przykład, jeżeli stacja radiolokacyjna pracuje na częstotliwości 9200 MHz /9,2 GHz/, wówczas generator lokalny /heterodyna/ wytwarza napięcie o częstotliwości 9250 MHz, w związku z czym częstotliwość pośrednia tej stacji wyniesie 50 MHz.

Sygnał echa przekształcony w mieszaczu zostaje następnie odpowiednio wzmocniony w dalszych stopniach odbiornika zwanych wzmacniaczem napięcia częstotliwości pośredniej.

Wzmacniacz częstotliwości pośredniej /równej 30-50 MHz/ ma zwykle kilka stopni wzmocnienia, czyli jest to wzmacniacz, zbudowany na kilku lampach elektronowych. Przyjmując, że każdy stopień wzmocnienia zapewnia w przybliżeniu kilkakrotne wzmocnienie, w wyniku wzmacniającego działania wszystkich stopni, otrzymamy niezbędne wzmocnienie sygnału echa.

Następnym podzespołem odbiornika jest tzw. detektor, w którym następuje kolejne przekształcenie uprzednio wzmocnionego sygnału echa radiolokacyjnego. Detektor przekształca sygnał prądu zmiennego o częstotliwości pośredniej w sygnał prądu stałego, gdyż w większości stacji radiolokacyjnych taki sygnał może być odtworzony na ekranie wskaźnika. Zanim sygnał echa w postaci impulsu prądu stałego dostanie się do wskaźnika, podlega on jeszcze dalszemu wzmocnieniu w tzw. wzmacniaczu wizyjnym. Wzmacniacz wizyjny jest w istocie wzmacniaczem impulsów otrzymanych na wyjściu detektora. Wzmocnione we wzmacniaczu wizyjnym sygnały echa kierowane są do wskaźnika, lub układu liczącego RSM.

Aby uniknąć skutków nagłych zmian mocy sygnału echa radiolokacyjnego, w odbiorniku zastosowano automatyczną regulację wzmocnienia /ARW/. Regulacja ta powoduje to, że sygnały echa przychodzące od odbitych obiektów znajdujących się bliżej stacji radiolokacyjnej są mniej wzmacniane od sygnałów echa przychodzących od obiektów bardzo odległych. Dzięki zastosowaniu regulacji automatycznej, jasność zobrazowania obiektów /celów/ na ekranie wskaźnika zmienia się nieznacznie.

Odbiornik radiolokacyjny posiada również urządzenia, przeznaczone do regulacji częstotliwości generatora lokalnego, zbudowanego na klistronie. Ponieważ częstotliwość drgań powstających w klistronie nie zawsze jest stabilna, dlatego też w układzie odbiornika stacji radiolokacyjnej przewidziana jest automatyczna regulacja częstotliwości /ARCz/. W obwód automatycznej regulacji częstotliwości wchodzi mieszacz ARCz i wzmacniacz ARCz. Automatyczna regulacja częstotliwości generatora lokalnego odbywa się pod kontrolą drgań promieniowanych przez antenę, a powstających w magnetronie. Sygnały kontrolne, współdziałając w mieszaczu ARCz z napięciem generatora lokalnego, wytwarzają w przypadku różnicy częstotliwości tzw.

napięcie korekcyjne. Napięcie to po wzmocnieniu we wzmacniaczu ARCz działa na klistron, powodując zmianę częstotliwości wytwarzanych w nim drgań.

Taka automatyczna regulacja częstotliwości jest konieczna przede wszystkim ze względu na zanik sygnału echa szczególnie w przypadku rozbieżności częstotliwości generatora nadajnika i generatora lokalnego odbiornika.

Oprócz tego do odbiornika radiolokacyjnego, najczęściej do bloku wzmacniacza pośredniej częstotliwości, doprowadza się impulsy z czasosteru, które synchronizują jego pracę z pracą pozostałych zespołów stacji radiolokacyjnej.

Reasumując, pracę układu odbiorczego możnaby ogólnie scharakteryzować w sposób następujący:

1. Sygnały odebrane przez antenę są przesyłane do przełącznika N-O /nadawanie - odbiór/ i dalej do mieszacza, zadaniem którego jest przekształcenie sygnałów w.cz. na sygnały pośredniej częstotliwości;
2. Z wyjścia mieszacza sygnały pośredniej częstotliwości podane są na wejście wstępnego wzmacniacza pośredniej częstotliwości, który znajduje się w zespole odbiorczym.
3. Wzmocnione impulsy p.cz. z wyjścia wzmacniacza pośredniej częstotliwości podawane są do detektora, a następnie do wzmacniacza wizyjnego.

Wzmacniacz główny zawiera następujące kanały wzmocnienia:

- kanał odległości;
- kanał automatycznego śledzenia we współrzędnych kątowych przy pracy z odbijaczem kątowym.

3.7. Układ pomiaru odległości.

Układ pomiaru odległości RSM jest przeznaczony do synchronizacji nadajnika, obserwacji i wyboru celu /obiektu/ we wskaźniku odległości, śledzenia celu w odległości /ręczne, automatyczne/. Ponadto zadaniem układu pomiaru odległości jest kształtowanie impulsów bardzo wąskiej bramki i impulsu zatykającego, przeznaczeniem których jest sterowanie pracą układu odbiorczego oraz kształtowanie impulsów synchronizujących układ liczący.

W stacjach radiolokacyjnych, pracujących impulsowo, rzeczywistą odległość od obiektu /odległość do obiektu/ określa się w oparciu o pomiar odcinka czasu między momentem wypromieniowania przez antenę impulsu sondującego a momentem odbioru

sygnału echa, czyli w oparciu o pomiar tzw. czasu opóźnienia impulsu odbitego od obiektu lub inaczej czasu opóźnienia sygnału echa. W odniesieniu do RSM, odległość do celu określa się czasem opóźnienia sygnału odzewowego w stosunku do impulsu zapytującego stacji radiolokacyjnej.

Znając czas opóźnienia sygnału echa /top/, możemy określić odległość rzeczywistą do obiektu przy pomocy prostego wzoru:

$$D = \frac{c \cdot t_{op}}{2}$$

gdzie: c - szybkość rozprzestrzeniania się fal elektromagnetycznych równa w przybliżeniu 300000 km/sek.

Czas opóźnienia echa - mierzymy przy pomocy linii podstawy czasu wytworzonej przez specjalne układy elektronowe i uwidocznionej na ekranie odpowiednio do celów radiolokacji przystosowanej lampy wskaźnikowej, będącej specjalnego typu lampą oscyloskopową.

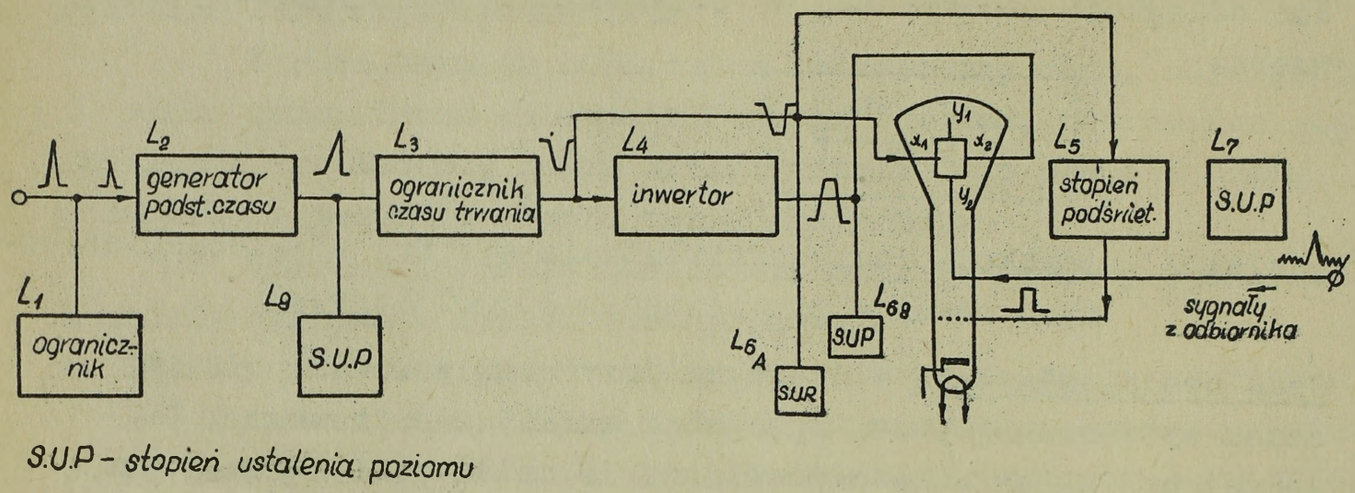
Linią podstawy czasu - nazywamy "ślad" strumienia elektronów na ekranie lampy wskaźnika, wywołany ruchem strumienia elektronów po powierzchni ekranu, powtarzany przy każdym cyklu pracy nadajnika /po każdym impulsie sondującym/.

Na RSM obserwacje sygnałów odbitych od obiektów przeprowadza się na wskaźniku odległości, zazwyczaj posiadającym dwuzakresową poziomą podstawę czasu np. 30 km i 2 km. Wskaźnik taki umieszczony jest w zespole odległości, dlatego też wskaźniki omówione zostaną poniżej.

W RSM przy automatycznym śledzeniu impulsy półbramek układu automatycznego śledzenia z odległości przekazywane są do układu rejestracji za pomocą łącza selsynowego. Natomiast przy ręcznym sterowaniu odległość mierzy się przez naprowadzenie wizjera elektrycznego na impuls odbity od celu na podstawie czasu wskaźnika odległości. Odległość odczytuje się z podziałki zespołu sterowania w odległości, dane te również przekazywane są do układu rejestracji za pomocą łącza selsynowego.

W zależności od wymaganej dokładności pomiaru odległości stosuje się różne rodzaje wskaźników odległości, np. wskaźniki odległości o małej dokładności /błąd rzędu kilometra/

lub wskaźnika o dużej dokładności /błąd rzędu ok. 15 m, przy odległości od kilkudziesięciu kilometrów/.
Na rys.28 podano uproszczony schemat blokowy wskaźnika odległości o małej dokładności.



S.U.P - stopień ustalenia poziomu

Rys.28. Schemat blokowy wskaźnika odległości.

Wskaźniki odległości /w konkretnym przypadku wskaźnik o małej dokładności/ składa się z lampy oscyloskopowej wraz z zasilaczem, układu podstawy czasu, układu podświetlania oraz wzmacniacza sygnału i źródła zasilania lamp.

Lampa oscyloskopowa z elektrostatycznym odchyleniem służy do obserwacji odbitych sygnałów. Napięcie na elektrody tej lampy doprowadza się z dzielnika napięcia podłączonego do prostownika o napięciu np. 2 KV.

Układ podstawy czasu - służy do wytworzenia piłowych impulsów napięcia, przykładanych na poziomo odchylające płytki lampy oscyloskopowej, w celu otrzymania podstawy czasu. Do układu podstawy czasu wchodzą:
- organicznik impulsów wyzwalających /L_1/;
- generator podstawy czasu /L_2/;
- ogranicznik czasu /trwania podstawy czasu /L_3/;
- inwertor /L_4/;
- stopnie ustalania poziomu napięcia podstawy czasu /L_5, L_{GA}, L_{GB}, L_7, L_8/.

Impulsy wyzwalające z nadajnika podaje się na ogranicznik impulsów wyzwalających, który ogranicza amplitudę impulsów wyzwalających na określonym poziomie /40V/. Uzyskuje się przez to niezależność pracy generatora podstawy czasu od amplitudy impulsów wyzwalających. Po ograniczeniu /odcięciu/, impulsy wyzwalające uruchamiają generator podstawy czasu L_2, który wytwarza impulsy piłowe napięcia podstawy czasu. Dioda ustalająca poziom /L_8/ na wyjściu generatora podstawy czasu, zapewnia niezmienność poziomu napięcia podstawy czasu. Stopień na lampie L_3 ogranicza czas trwania i amplitudę napięcia podstawy czasu. Na wyjściu ogranicznika uzyskuje się ujemne impulsy o kształcie trapezu, które oddziaływują na trzy obwody; na lewą płytkę/poziomo odchylającą/ lampy oscyloskopowej X_1, na inwertor L_4 i na stopień podświetlania podstawy czasu L_5.

Inwertor odwraca biegunowość impulsów napięcia podstawy czasu, nie zmieniając ich amplitudy.
Uzyskane w inwertorze dodatnie impulsy przykładane są do prawej poziomo - odchylającej płytki X_2. W ten sposób na lewą i prawą poziomo - odchylającą płytkę lampy oscyloskopowej przykłada się impulsy napięcia podstawy czasu o różnej biegunowości, wytwarzając twz. przeciwsobne /symetryczne/ odchylenia strumienia. Taki sposób odchylenia zabezpiecza dobre ogniskowanie podstawy czasu wzdłuż całego ekranu.

Diody ustalania poziomu L_{6B}, L_{6A} podłączone do poziomu odchylających płytek lampy oscyloskopowej, zapewniają niezmienność początkowego poziomu napięcia podstawy czasu, na skutek czego podstawa czasu startuje zawsze z tego samego punktu zera odległości.

Kanał podświetlający - służy do odblokowania lampy oscyloskopowej na czas roboczego ruchu podstawy czasu, gdy odbywa się pomiar odległości. Przez pozostały czas /ruch powrotny plamki/ lampa oscyloskopowa jest zablokowana ujemnym napięciem przełożonym do siatki sterującej lampy. Kanał podświetlający stanowi jeden stopień L_5, w którym wytwarzane są dodatnie impulsy podświetlające, podawane następnie na siatkę sterującą lampy oscyloskopowej i odblokowujące ją. Czas trwania impulsu podświetlającego równa się czasowi trwania pochyłej części impulsu trapezowego podstawy czasu, w ciągu którego plamka porusza się ze stałą szybkością na ekranie z lewa na prawo.

Wzmacniacz sygnału - służy do przekazywania sygnałów z wyjścia odbiornika na lampę oscyloskopową.

Dodatnie impulsy wizyjne z odbiornika przekazywane są na pionowo-odchylającą płytkę lampy oscyloskopowej Y_2 i powodują wysoki na podstawie czasu. We wzmacniaczu sygnału znajduje się dioda L_7, która podtrzymuje niezmienny poziom sygnałów, dzięki czemu można obserwować na ekranie sygnały silne i słabe.

W podobny sposób można by omówić system pomiaru odległości dużej dokładności.

3.8. Wskaźniki stosowane w RSM.

Wskaźnik stacji radiolokacyjnej /jest ich w RSM co najmniej dwa, lub więcej/, służy do jednoczesnej obserwacji zobrazowań impulsów odbitych od wszystkich obiektów /celów/, znajdujących się w strefie obserwacji stacji i pomiaru na bieżąco współrzędnych ich położenia w przestrzeni. Dokładność pomiaru współrzędnych położenia obiektu w przestrzeni zależy od zakresu pomiarowego wskaźnika.

Wskaźniki stacji radiolokacyjnych mają bardzo różnorodną konstrukcję, w zależności od zastosowania i wymaganej dokładności pomiaru współrzędnych.

Z ważniejszych typów wskaźników wymienić można:

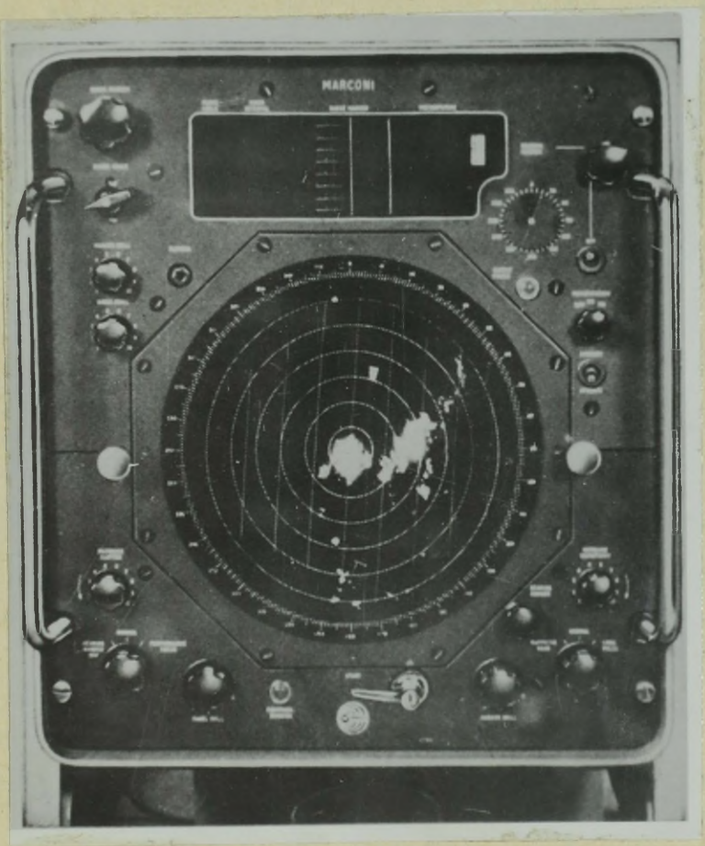
- wskaźniki z promieniową podstawą czasu, tj. wskaźniki obserwacji okrężnej, panoramicznej - zwane wskaźnikami typu P;
- wskaźniki z liniową podstawą czasu, tj. wskaźniki odległości typu A;
- wskaźniki z kołową podstawą czasu, tj. wskaźniki odległości typu C.

Stosowane są również wskaźniki typu P z przesuwanym środkiem, wskaźniki typu R-H /odległość - wysokość/. Niektóre z tych typów zostaną omówione niżej.

3.8.1. Wskaźnik panoramiczny /typu P/

Szeroko stosowanym w RSM wskaźnikiem służącym do obserwacji np. zjawisk meteorologicznych /chmur, opadów, itp/, jest wskaźnik panoramiczny zwany wskaźnikiem typu P. Okrężnie obracająca się w sposób ciągły /automatycznie lub ręcznie/ antena, umożliwia otrzymywanie obrazu obserwowanego obszaru. Obserwując

usytuowanie w przestrzeni np. chmur /lub innych obiektów/, można poprzez odpowiednie ustawienie jasności wskaźnika wyregulować obraz tak, aby widoczne były na nim tylko kontury złożone z sygnałów o jednakowym natężeniu. Na rys. 29 przedstawiono płytę czołową wskaźnika panoramicznego /typu P/ z widocznym ekranem, na którym zobrazowane zostały odbicia od obszarów zachmurzonych.

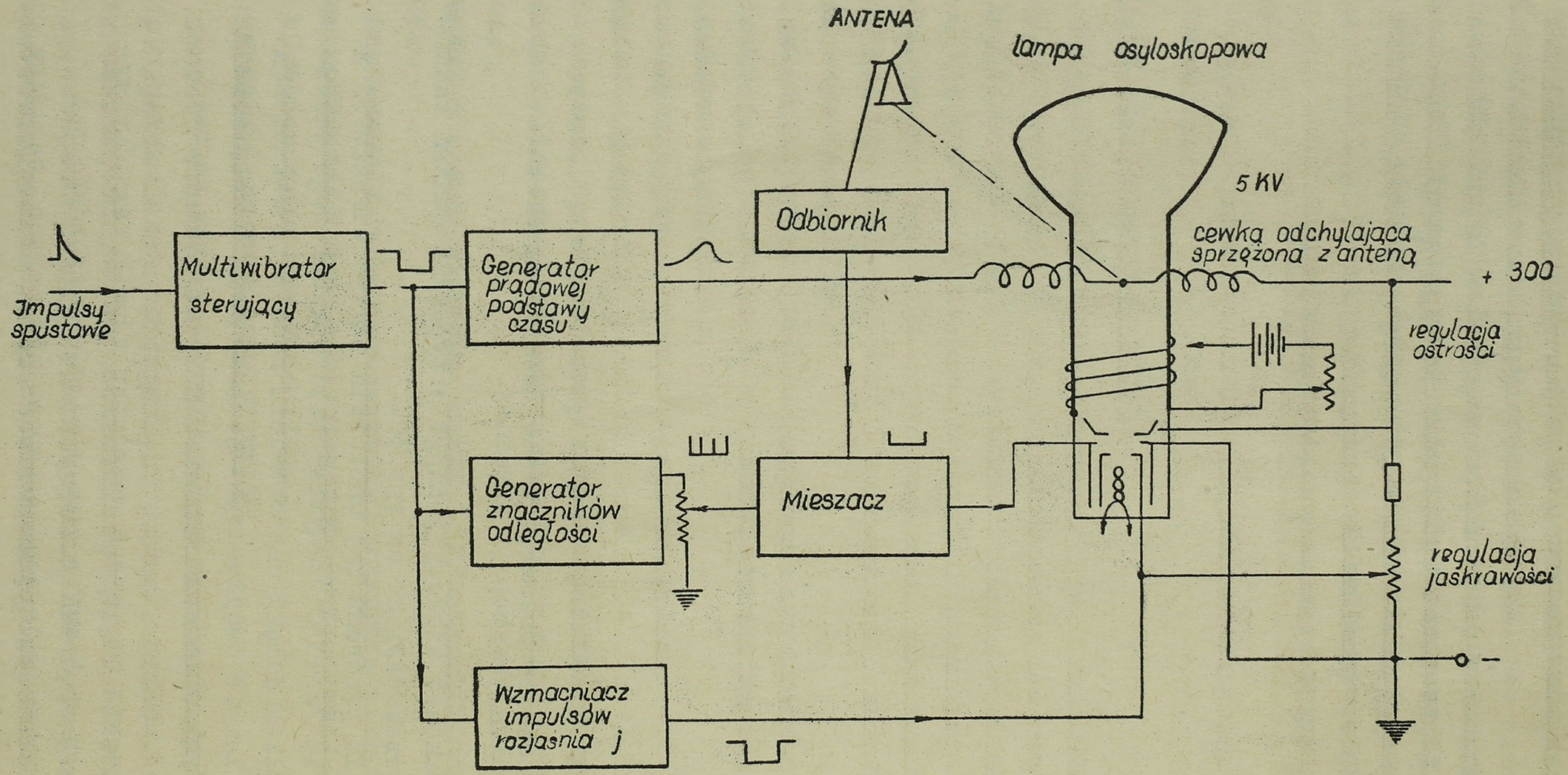


Rys.29. Zobrazowanie obszarów zachmurzonych na ekranie wskaźnika obserwacji okrężnej.

Uproszczony schemat blokowy jednego z typowych odmian wskaźnika typu P przedstawiono na rys.30.

Wskaźnik panoramiczny umożliwia odczyt odległości i azymutu obiektu /celu/. Dwuwymiarowość wskazań tego wskaźnika jest możliwa dzięki zastosowaniu modulacji strumienia elektronów w lampie oscyloskopowej, przy czym z reguły we wskaźnikach tych stosowane są lampy o odchyleniu magnetycznym.

Ze schematu blokowego wskaźnika typu P /rys.30/ wynika, że impuls spustowy z synchronizatora /zwanego też czasosterem/ wyzwala jednookresowy multiwibrator sterujący



Rys.30. Uproszczony schemat blokowy wskaźnika typu P.

pracą całego wskaźnika, ponieważ zastosowano lampę z odchyleniem magnetycznym, a zatem odchylenie i ogniskowanie odbywa się za pomocą pola magnetycznego, wytwarzanego przez prądy płynące w odpowiednich cewkach nakładanych na szyjkę lampy. Cewka odchylająca jest sprzężona z anteną za pomocą łącza selsynowego i obraca się wokół szyjki zgodnie z obrotem anteny. Najczęściej jest ona na rdzeniu żelaznym, aczkolwiek po odpowiednim ukształtowaniu może być również bez rdzenia, dzięki czemu zwiększą się jednorodność pola magnetycznego oraz zmniejsza się tzw. pojemność międzyuzwojeniowe. Większa jednorodność pola magnetycznego, zmniejsza zniekształcenia i rozogniskowanie plamki na brzegach ekranu, zaś mniejsza pojemność własna ułatwia uzyskanie liniowego prądu w cewkach odchylających.

Aby uzyskać odchylenie promieniowe strumienia elektronów w lampie, umożliwiające odczytanie odległości - do cewki odchylającej doprowadza się prąd narastający linearnie o tzw. przebiegu piłowym. Prąd ten jest wytwarzany przez generator prądowej podstawy czasu. Cewka ta obracając się synchronicznie z anteną, tym samym powoduje również kołowy obrót promienia podstawy czasu - dzięki czemu można określić azymut obiektu /celu/.

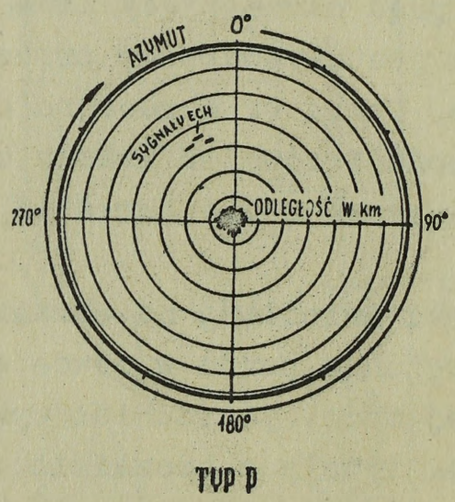
Ogniskowanie plamki świetlnej na ekranie lampy dokonuje się przez regulację natężenia prądu w cewce ogniskowej. Zamiast cewki ogniskującej może być również wykorzystany odpowiednio ukształtowany magnes trwały z bocznikiem magnetycznym. Dzięki temu zmniejsza się pobór mocy elektrycznej przez wskaźniki i zwiększa się stabilność pola ogniskującego, jednak jakość ogniskowania jest gorsza i regulacja ogniskowania zbyt trudna /rozwiązanie rzadko stosowane/.

We wskaźnikach typu P stosowane są lampy z odchyleniem magnetycznym ż dużym czasem poświaty, przy czym szybkość anteny jest tak dobrana, ażeby zobrazowanie na ekranie wskaźnika nie zanikało zbyt szybko przed następnym obrotem.

Jasność plamki na ekranie reguluje się przez zmianę potencjału na siatce sterującej. Rozjaśnienia lampy w czasie robóczego ruchu plamki dokonuje się przez doprowadzenie wzmocnionego ujemnego impulsu bramkowego do katody lampy. Dodatnie impulsy odbite od celu wraz z dodatnimi impulsami kalibrującymi z generatora znaczników odległości o regulowanej

amplitudzie są doprowadzane poprzez mieszacz do siatki sterującej, dzięki czemu realizowana jest regulacja jasności i cel /obiekt/ oraz znaczniki są widoczne w postaci jaśniejszych punktów /plam/ i kół /rys.29./

Schematyczne określenie dwuwymiarowości wskaźnika typu P, tzn. odległości i azymutu, zilustrowano na rys.31. Na rysunku tym w środku ekranu w postaci ciemnej plamki uwidoczniono odbicia od obiektów terenowych /budynków, drzew itp./. Oczywiście w rzeczywistości odbicia te odwzorowane na ekranach wskaźników radiolokacyjnych będą widoczne jako jasne plamy, podobnie jak plamki będące sygnałami ech. W sposób wyraźny sygnały ech jako jasne plamy można zaobserwować na rys.29.



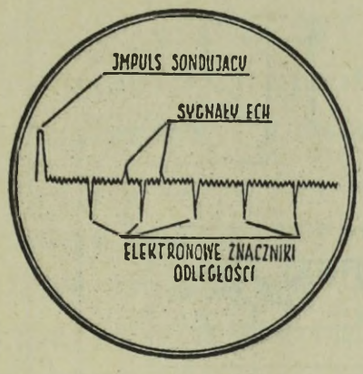
TYP P

Rys.31. Schematyczne zobrazowanie na wskaźniku typu P.

We wskaźniku typu P, odległość i azymut obiektów /celów/ przedstawia się we współrzędnych biegunowych, to znaczy, że miarą odległości obiektu jest odległość jego echa od środka ekranu, zaś miarą azymutu kąt, pod jakim echo rysuje się na ekranie wskaźnika stacji radiolokacyjnej.

3.8.2. Wskaźnik z liniową podstawą czasu /typu A/.

Wskaźniki z liniową podstawą czasu, są wskaźnikami zobrazowania jednowymiarowego i dostarczają one niewielką ilość informacji o położeniu obiektu /rys.32/.

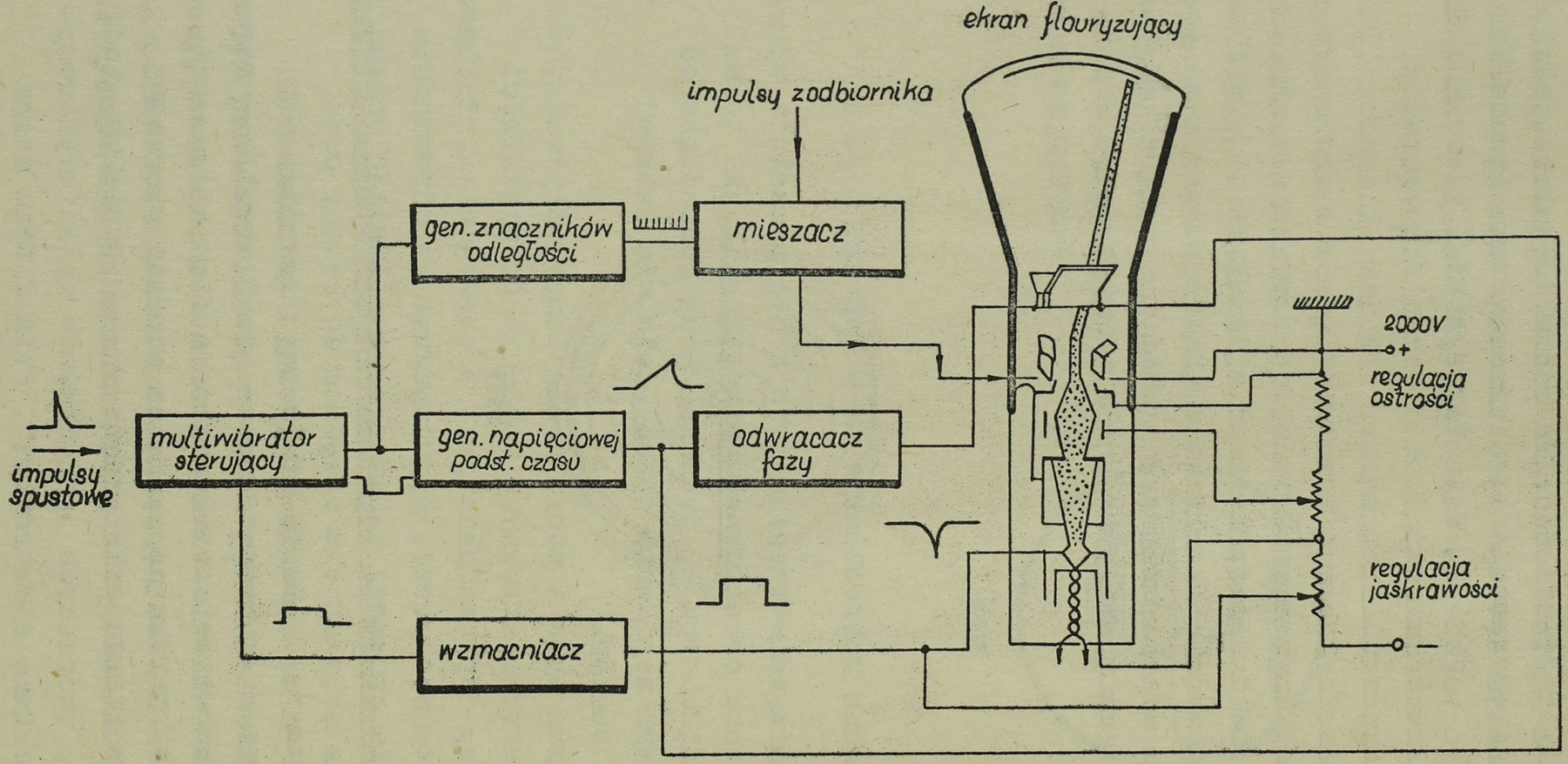


Rys.32. Schematyczne zobrazowanie na wskaźniku typu A.

Zobrazowania na wskaźniku typu A nie pozwalają wprawdzie otrzymać obrazu obserwowanej przestrzeni, jak to ma miejsce we wskaźniku typu P, jednakże echa pochodzące od obszarów o większym nasileniu opadów dają się łatwiej rozpoznać na tle szumów.

We wskaźniku typu A stosuje się lampy oscyloskopowe z odchyleniem elektrostatycznym. Napięcie do większości elektrod tych lamp doprowadzane jest z prostownika. Ruchome suwaki na tym potencjometrze, wyprowadzane na odpowiednie pokrętła na płycie czołowej wskaźnika, umożliwiają zmianę ujemnego napięcia na siatce w stosunku do katody oraz dodatniego napięcia na anodzie pierwszej /rys.33/.

Zmiana napięcia na siatce sterującej umożliwia regulację natężenia strumienia elektronów, a więc i jasności plamki na ekranie. Zmiana napięcia na anodzie pierwszej powoduje zmianę rozkładu pola elektrycznego pomiędzy anodą pierwszą i drugą, tworzących jednocześnie układ elektrooptyczny, tzw. "soczewkę elektronową". Dzięki temu można regulować ostrość plamki świetlnej na ekranie.



Rys.33. Uproszczony schemat blokowy wskaźnika typu A.

Impulsy spustowe z synchronizatora lub modulatora kierują pracą wskaźnika. Impulsy te wyzwalają multiwibrator jednookresowy, sterujący pracą wskaźnika. Czas trwania impulsu wytwarzanego przez taki multiwibrator odpowiada maksymalnemu zasięgowi stacji radiolokacyjnej. Jeśli stacja ma kilka zakresów, co najczęściej ma miejsce, to wówczas w multiwibratorze za pomocą odpowiedniego przełącznika nastawia się wartość jego parametrów odpowiadającą danemu zakresowi.

Multiwibrator sterujący uruchamia za pomocą ujemnego impulsu generator napięciowy podstawy czasu i kalibrator oraz za pomocą dodatniego impulsu, doprowadzonego do siatki sterującej, rozjaśnia lampę oscyloskopową. Układy te działają tak długo, jak długo trwa impuls multiwibratora.

Impulsy, wytwarzane przez multiwibrator sterujący, nazywane są często bramkowymi, np. bramka ujemna lub bramka dodatnia.

Generator napięciowy podstawy czasu wytwarzania napięcia powoduje poziome przesuwanie się plamki na ekranie. Start plamki świetlnej na ekranie następuje jednocześnie z rozpoczęciem promieniowania impulsu sondującego przez antenę w przestrzeni. Jeśli impuls sondujący napotyka na swej drodze obiekt, to odbity impuls będąc doprowadzony z odbiornika do pionowych płytek odchylających spowoduje wyskok plamki świetlnej na ekranie. Czas, jaki upłynął od chwili startu impulsu sondującego widocznego na ekranie a z powrotem impulsu odbitego /sygnału echa/, będzie miarą odległości, w jakiej znajduje się obiekt. W praktyce czas ten jest bezpośrednio wyskalowany w kilometrach. Dla ułatwienia obsłudze dokładniejszych odczytów odległości - w układzie doprowadzono do płytek pionowych przez mieszacz impulsy kalibrujące, tzw. elektronowe znaczniki odległości.

Zastosowanie w układzie mieszacza chroni od wzajemnych wpływów układu odbiornika i generatora znaczników odległości, a także może powodować /w zależności od potrzeby/ wzmocnienie lub odwracanie fazy doprowadzanych sygnałów oraz osobnej regulacji ich amplitud.

Dodatni impuls z multiwibratora doprowadzony do siatki lampy oscyloskopowej rozjaśnia ją przez odblokowanie jej jedynie na roboczy okres pracy całego układu. Dzięki temu chroni się ekran przed wypaleniem plamy w punkcie spoczynkowym plamki

świetlnej oraz ułatwia się odczyty, ponieważ ekran jest ciemniejszy gdy powrotny ruch plamki nie nakłada się na ruch roboczy.

3.8.3. Wskaźniki innych typów stosowane w RSM.

Jak już mówiliśmy, pożądany kształt odwzorowania otrzymuje się na wskaźniku typu P przez obracanie toru podstawy czasu dokoła punktu jej startu, zgodnie z obrotem anteny w azymucie. Echa od poszczególnych obiektów występują więc w odpowiednich kierunkach i w odpowiedniej odległości od punktu startu podstawy czasu w postaci rozjaśnionych plamek. Zazwyczaj wówczas punkt startu podstawy czasu znajduje się w środku ekranu lampy oscyloskopowej. Często jednakże punkt ten jest przesunięty ze środka ekranu, czasami nawet daleko poza ekran lampy.

W ten sposób eliminuje się z ekranu nieinteresujące obszary przy jednoczesnym rozciągnięciu na cały ekran interesującego wycinka przestrzeni. Wskaźniki z takim zobrazowaniem noszą nazwę wskaźników typu P z przesuniętym środkiem lub wskaźników wycinkowych /sektorowych/. Kilka zobrazowań tego rodzaju przedstawiono na rys.34.

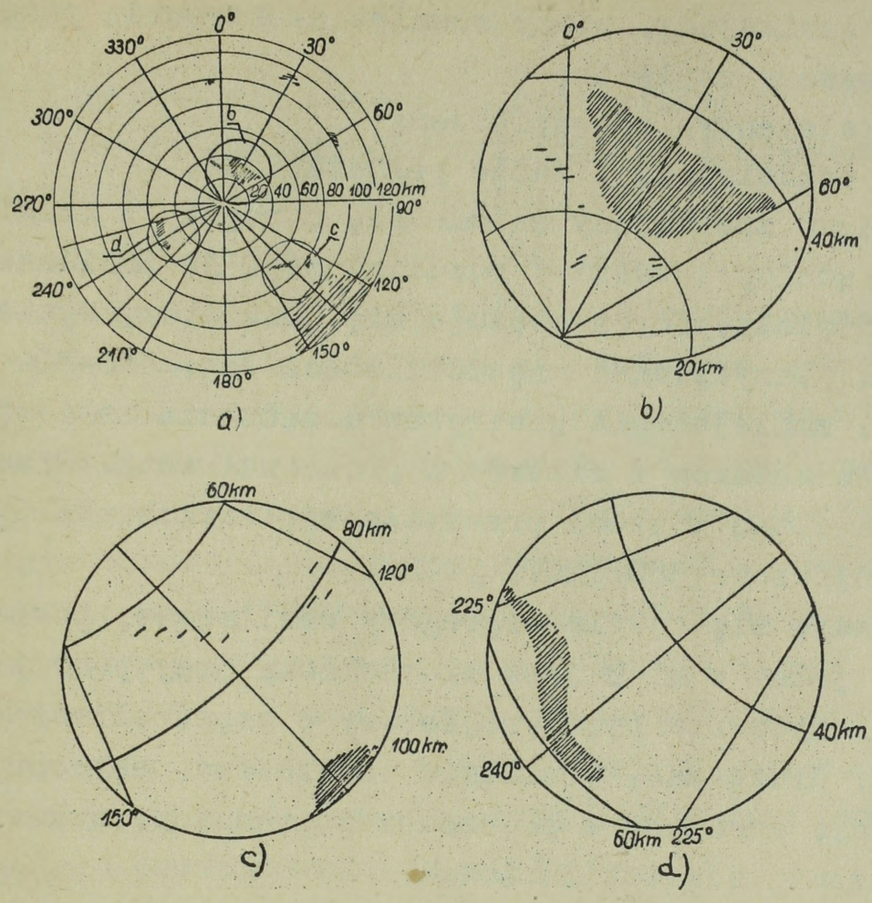
Meteorologom zależy często na analizie przestrzeni nie w płaszczyźnie poziomej, lecz w pionowej. Wówczas do tego celu wykorzystuje się wskaźnik typu RH, dający zobrazowanie w postaci impulsu echa we współrzędnych H i R /wysokość i odległość/.

3.9. Układ sterowania anteną.

Zadaniem układu sterowania anteną jest wprowadzenie w ruch anteny oraz odpowiednie sterowanie w zależności od rodzaju pracy.

Rozróżniamy trzy podstawowe rodzaje pracy układu sterowania anteną, a mianowicie:

- automatyczne przeszukiwanie sektorowe, przeznaczone do wykrycia celu w określonym sektorze;
- ręczne sterowania, przeznaczone do wykrycia obiektu i prowadzenia przed przejściem na automatyczne śledzenie;
- automatyczne śledzenie przeznaczone do dokładnego określania współrzędnych kątowych śledzonego obiektu.



Rys.34. Zobrazowania: a/ typu P, b,c,d, zobrazowanie sektorowe. Zobrazowania sektorowe przedstawiają w powiększeniu fragmenty, uwidocznione na zobrazowaniu panoramicznym.

3.10. Układ przekazywania i rejestracji danych.

Zadaniem układu przekazywania i rejestracji danych jest przekazywanie na bieżąco współrzędnych kątowych i odległości obiektu oraz automatyczne rejestrowanie tych danych. W urządzeniu rejestrującym są drukowane na taśmie papierowej bieżące współrzędne celu oraz czas i różne dane meteorologiczne. Przekazywanie współrzędnych azymutu, kąta położenia i odległości obiektu jest dokonywane za pomocą układów śledzących. Sterowanie układem drukującym dane meteorologiczne dokonuje się z zespołu impulsów wzorcowych, w którym wypracowuje się program rejestracji danych. Cykl rejestracji danych meteorologicznych wynosi kilka sekund.

3.11. Układ zasilania energią elektryczną.

Do głównych elementów składowych układu zasilania elektrycznego można zaliczyć:

- agregat zasilający, zwany również elektrownią polową;
- stabilizatory napięcia;
- układy /elementy/ zabezpieczeń;
- tablice rozdzielcze i kable połączeniowe.

Agregat zasilający składa się z reguły z silnika spalinowego, prądnicy i tablicy rozdzielczej. Do zasilania niektórych stacji radiolokacyjnych stosuje się generatory wytwarzające napięcie o tzw. podwyższonej częstotliwości /np. 400-800 Hz/; ma to na celu m.in. zmniejszenie gabarytów urządzenia zasilającego /głównie transformatorów i filtrów w prostownikach/. Stacje mogą być również zasilane z sieci przemysłowej; zwykle stosuje się napięcie trójfazowe 380/220V, 50 Hz.

Stosuje się również agregaty zasilające, posiadające dwie prądnice: jedna z nich jest uruchomiona przy pomocy silnika spalinowego i wytwarza prąd trójfazowy o częstotliwości przemysłowej 50 Hz, druga zaś, uruchamia trójfazowy, asynchroniczny silnik elektryczny, zasilany z poprzedniej prądnicy, wytwarza ona prąd o podwyższonej częstotliwości.

Znajdujące się w stacji radiolokacyjnej wentylatory, sieć oświetleniowa, selsyny i różne urządzenia pomocnicze są w tym przypadku zasilane z generatora wytwarzającego prąd o częstotliwości przemysłowej, zaś aparatura stacji jest zasilana prądem zmiennym o podwyższonej częstotliwości.

4. BUDOWA, ZASADA PRACY I PRZEZNACZENIE RADIOSOND.

Najogólniej biorąc, radiolokacyjne stacje meteorologiczne stosowane w wojsku mogą być częścią składową rozbudowanych specjalistycznych stacji meteorologicznych. Radiolokacyjne stacje meteorologiczne, które oznaczamy skrótem RSM stanowią komplet urządzeń przeznaczonych do określania warunków meteorologicznych, koniecznych przy prowadzeniu strzelań artylerii naziemnej, przeciwlotniczej, itp. Stacje mogą być również użyte do obsługi meteorologicznej jednostek lotniczych, morskich, specjalnych /np. wojsk rakietowych/.

W zależności od typu stacji, mogą one być przeznaczone do prowadzenia radiosond, odbijaczy kątowych oraz do wielu innych zadań wynikających z charakteru ich pracy jako stacje meteorologiczne.

a/ Przy pracy z radiosondą radiolokacyjna stacja meteorologiczna:

- określa i rejestruje czas lotu radiosondy;
- określa bieżące współrzędne radiosondy, a mianowicie: kąt położenia, azymut, odległość;

b/ Przy pracy z odbijaczem kątowym stacja:

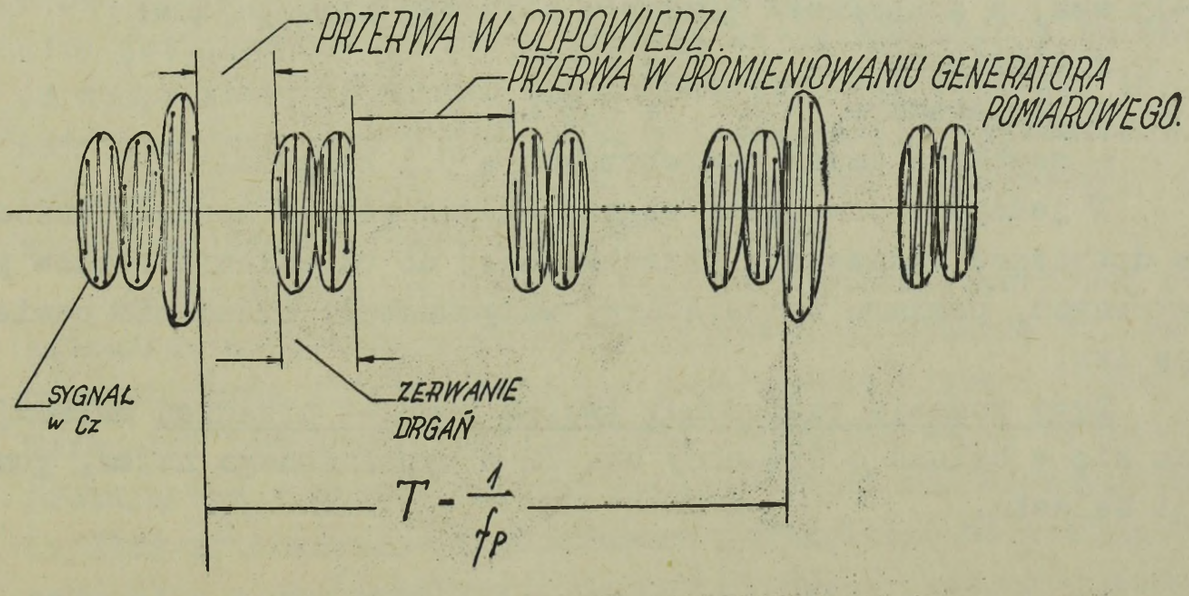
- określa i rejestruje czas lotu i bieżące współrzędne odbijacza kątowego, które to dane są następnie wykorzystywane do dalszych pomiarów meteorologicznych np.wiatru.

Jak wspomniano wyżej, w zależności od typu i przeznaczenia radiolokacyjnych stacji meteorologicznych możliwe jest stosowanie odpowiednich rodzajów pracy. Dla przykładu wyjaśniamy, że jeżeli RSM przewidziana jest do pracy z odbijaczem kątowym, wówczas praca jej będzie niemal analogiczna, jak radiolokacyjnej stacji stosowanej w artylerii. Natomiast przy pracy RSM z radiosondą, dane o pomiarach meteorologicznych są przekazywane przez radiosondę automatycznie w postaci zakodowanych impulsów.

Radiosondy wyposażone są również w komplet urządzeń nadawczych, a promieniowanie nadajnika radiosondy wykorzystuje się do:

- śledzenia radiosondy we współrzędnych kątowych;
- pomiaru odległości do radiosondy;
- automatycznego śledzenia radiosondy w odległości:

Na rys.35 podano przybliżony kształt sygnałów radiosondy.



Rys.35. Schematyczne kształty sygnałów radiosondy.

Szczególną rolę w pracy RSM odgrywają radiosondy, za pomocą których uzyskuje się niezbędne dane z pomiarów meteorologicznych, w związku z czym celowe będzie omówienie pokrótce budowy, zasady pracy i przeznaczenia radiosondy.

Przy pracy z radiosondą naziemne urządzenia radiolokacyjne określają czas ich lotu, zestawiają bieżące współrzędne itp. Przesyłanie pomiarów z radiosondy dotyczące np. temperatury powietrza odbywa się automatycznie w postaci odpowiednio zakodowanych impulsów. Ponadto przesyłane sygnały radiowe z radiosondy, są jednocześnie wykorzystywane przez zespół urządzeń stacji radiolokacyjnych do namierzania i automatycznego śledzenia radiosondy we współrzędnych kątowych.

Do pomiaru odległości do radiosondy wykorzystywane są sygnały radiowe urządzenia odbijającego /odzewowego/ zainstalowane na radiosondzie.

Istnieją różne typy zarówno stacji meteorologicznych jak i radiosond. Mogą to być na przykład stacje wyposażone również w urządzenia zapytujące a radiosonda będzie zaopatrzona w dwa komplety urządzeń odpowiadających. W tym wypadku jedno urządzenie odpowiadające będzie wykorzystane do przekazywania danych dotyczących pomiaru prędkości i kierunku wiatru, natomiast drugie urządzenie przeznaczone będzie do przekazywania danych o temperaturze, wilgotności i ciśnieniu powietrza itp.

Przy wykorzystaniu powyższego systemu, pełny cykl nadawania i odbioru informacji meteorologicznych może trwać około 10-15 sek, a dokładność pomiarów może być następująca:

- ciśnienie ± 2 mb;
- temperatura ± 0,3°C;
- szybkość zmian powietrznych ± 5,5 km/godz.

W jednym z czasopism zagranicznych podane zostały informacje dotyczące radiosondy przeznaczonej do określania ruchów powietrznych, pomiaru temperatury, wilgotności, ciśnienia powietrza itp.

Tego rodzaju radiosondy tworzą komplet urządzeń składających się z balonu o średnicy ok. 12 m wypełnionego helem, gondoli i balastu.

W gondoli rozmieszczone są trzy nadajniki po 50 W każdy, pracujące na różnych częstotliwościach. Oprócz tego w gondoli rozmieszczone są meteorologiczne przyrządy pomiarowe oraz odpowiednie urządzenia do regulacji wysokości lotu radiosondy.

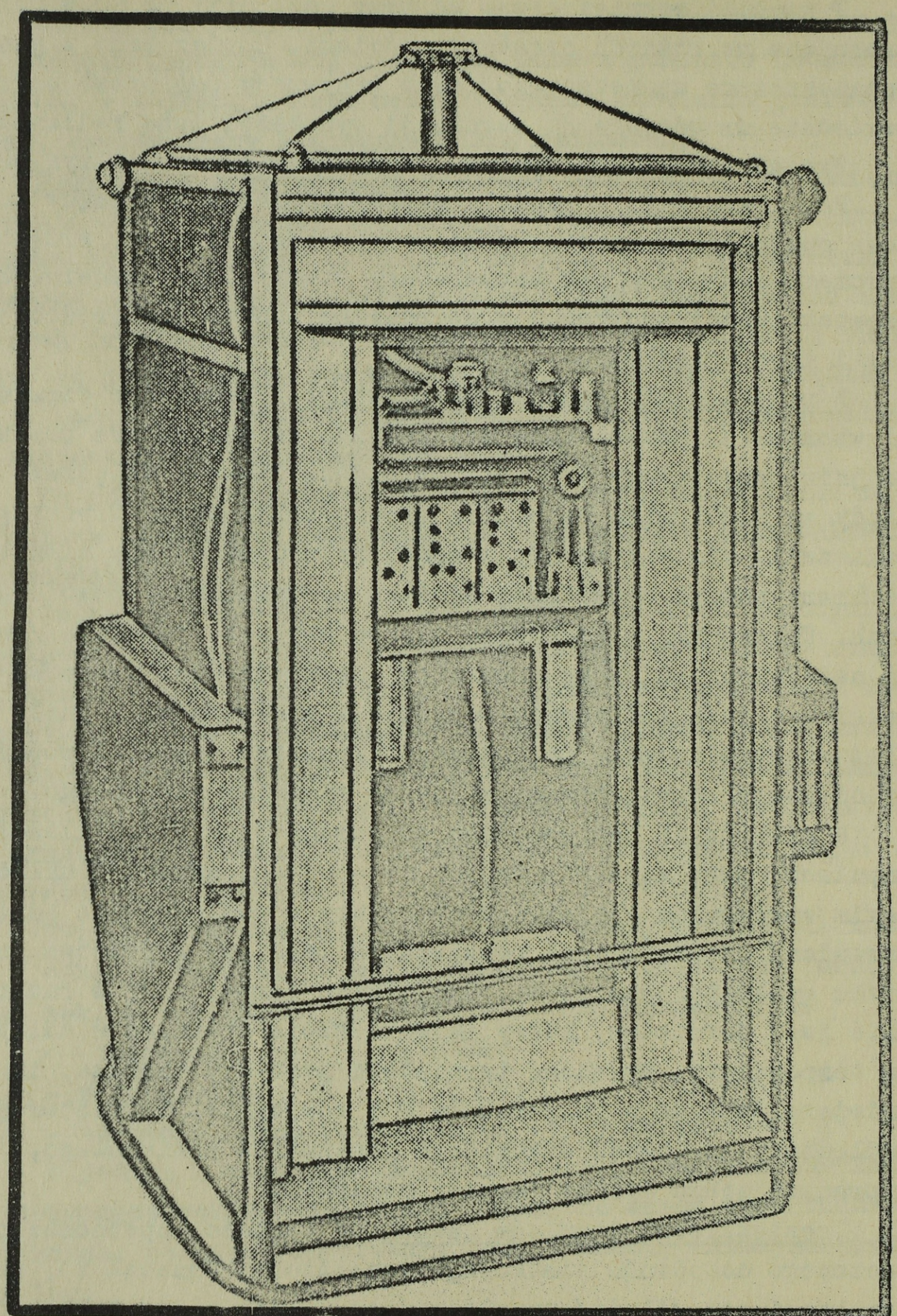
Wygląd zewnętrzny typowej radiosondy ilustruje rys.36.

Rozmieszczone w gondoli meteorologiczne przyrządy pomiarowe obejmują: generator pomiarowy, nadajnik w.cz., przełącznik barometryczny, czujnik temperatury /termistor/, generator częstotliwości wzorcowej z opornikiem wzorcowym, źródło zasilania i inne urządzenia.

W radiosondzie czujnik temperatury i generator częstotliwości wzorcowej, przyłączają się kolejno do generatora pomiarowego. Czujnik temperatury i generator częstotliwości wzorcowej radiosondy są podłączone za pomocą przełącznika barometrycznego, przy wznoszeniu się radiosondy w górę. Na skutek zmiany ciśnienia membrama puszki próżniowej naciska na wskazówkę, powodując ich ruch. Wskazówka, przesuwając się po stykach, podłącza /okresowo/ do nadajnika radiosondy generator częstotliwości wzorcowej. Z kolei nadajnik radiosondy generuje w przestrzeni sygnały wielkiej częstotliwości; zmodulowane impulsowo częstotliwością zależną od temperatury otoczenia lub do opornika wzorcowego.

W niektórych radiosondach stosowany jest układ ilościowo-impulsowy przekazywania danych meteorologicznych. W układzie takim wskazaniom czujnika temperatury w radiosondzie odpowiada określona częstotliwość powtarzania impulsów wypracowanych przez generator pomiarowy. Czujnikiem temperatury w radiosondzie jest termistor, który zmienia swoją oporność w zależności od temperatury. Oporność termistora jest tym większa, im mniejsza jest jego temperatura - i odwrotnie. Termistor jest podłączony do obwodu siatkowego generatora pomiarowego, wypracowującego ujemne impulsy napięcia.

Częstotliwość impulsów zależy od wartości oporności podłączonego do obwodu siatkowego generatora. Oznacza to, że częstotliwość /ilość/ impulsów jest umowną miarą temperatury. Generator pomiarowy steruje pracą nadajnika w.cz. radiosondy, pracującego w paśmie częstotliwości stacji radiolokacyjnej. Impulsy przekazywane z generatora pomiarowego na siatkę lampy nadajnika w.cz. przerywają na krótki okres czasu /od kilkudziesięciu do kilkuset mikrosekund/ generację nadajnika, tworząc przerwy w promieniowaniu /rys.35/.



Rys.36. Gondola radiosondy meteorologicznej.

Według ilości przerw w promieniowaniu nadajnika radiosondy rejestrowanych przez stację radiolokacyjną określana jest temperatura otoczenia /powietrza/ radiosondy. Częstotliwość impulsów wypracowanych przez generator pomiarowy, zależy także od zmian wielkości napięć, źródła zasilania, od temperatury jego elementów i od szeregu innych czynników destabilizujących. Dlatego też do układu generatora pomiarowego włącza się okresowo nadajnik częstotliwości wzorcowej, którego częstotliwość praktyczna /użytkowa/ nie zależy od temperatury otoczenia. Zmiany częstotliwości wzorcowej następują tylko pod wpływem czynników destabilizujących.

W celu zmniejszenia wpływu czynników destabilizujących na dokładność określania temperatury otoczenia /przy wypracowywaniu danych meteorologicznych/, temperaturę określa się ze stosunku częstotliwości powtarzania /ilości/ impulsów generatora pomiarowego, do impulsów częstotliwości wzorcowej, czyli ze stosunku:

$$\frac{f_t}{f_w} = q \;;$$

gdzie: f_t - częstotliwość temperatury /częstotliwość impulsów generatora pomiarowego/;

f_w - częstotliwość wzorcowa.

W tym przypadku temperaturę określa się z mniejszymi błędami niż za pomocą częstotliwości powtarzania impulsów generatora pomiarowego /tzn. przerw między impulsami/.

Nadajnik w.cz. oprócz generatora pomiarowego radiosondy jest także sterowany specjalnym modulatorem, który jest generatorem drgań o odpowiednim kształcie i częstotliwości rzędu kilkuset kiloherców. Modulator ten zapewnia superreakcyjny rodzaj pracy nadajnika radiosondy. Przy modulacji nadajnik radiosondy promieniuje drgania przerywane /tzn. szum superreakcyjny - rys. 35/, o częstotliwości powtarzania podobnej do tej, jaką posiada wspomniany wyżej modulator. W tych warunkach nadajnik radiosondy spełnia funkcję nie tylko nadajnika wielkości temperatury i częstotliwości wzorcowej, lecz także radiolokacyjnego urządzenia odzewowego, reagującego na impulsowe sygnały zapytujące, wysyłane przez stacje radiolokacyjne.

Przy opromieniowaniu radiosondy, impulsem sondującym /impulsem wysyłanym przez stację radiolokacyjną/ następuje zwiększenie amplitudy wspomnianego wyżej "szumu superreakcyjnego" na czas trwania impulsu zapytującego stacji, a w ślad za tym zerwanie generacji drgań na czas rzędu około 1 mikrosekundy /na rys.35 - zaznaczono zerwanie drgań/. Na podstawie czasu opóźnienia sygnału odpowiedzi radiosondy w stosunku do impulsu wyzwalającego, stacja określa odległość do radiosondy. Z powyższego wynika, że stacja radiolokacyjna przy śledzeniu radiosondy pracuje z celem aktywnym, co pozwala określać współrzędne radiosondy i dane meteorologiczne przy większych odległościach, ponieważ moc sygnałów radiosondy jest dość duża.

Ciśnienie atmosferyczne na różnych wysokościach radiosondy, można określić na podstawie odpowiedniego wzoru w funkcji wysokości, co jest określane przez stację.
Ponadto ciśnienie atmosferyczne można również określić na podstawie temperatury powietrza zmierzonej przez radiosondę na odpowiednich wysokościach, jak również na podstawie wyników pomiaru ciśnienia w pobliżu ziemi.

Szybkość i kierunek wiatru określa się na podstawie bieżących współrzędnych i czasu lotu radiosondy, podobnie jak przy pracy z reflektorami kątowymi.

Radiosondy stosowane na Zachodzie /oczywiście nie wszystkie/ charakteryzują się tym, że do regulacji wysokości lotu balonu z radiosondą, stosowane są specjalne urządzenia barometryczne oraz balast w postaci sproszkowanego żelaza /opiłek żelaznych/ o wadze około 100 kg. Balast ten może być wyrzucany z gondoli automatycznie w odpowiedniej ilości. Maksymalną wysokość lotu radiosondy ustala się objętością gazu w balonie. Lot balonu oblicza się na około 4-6 dni i może być przerwany przy pomocy specjalnego mechanizmu czasowego. Po ukończeniu przewidzianego programu lotu, gondola oddziela się od balonu i opuszcza na spadochronie.

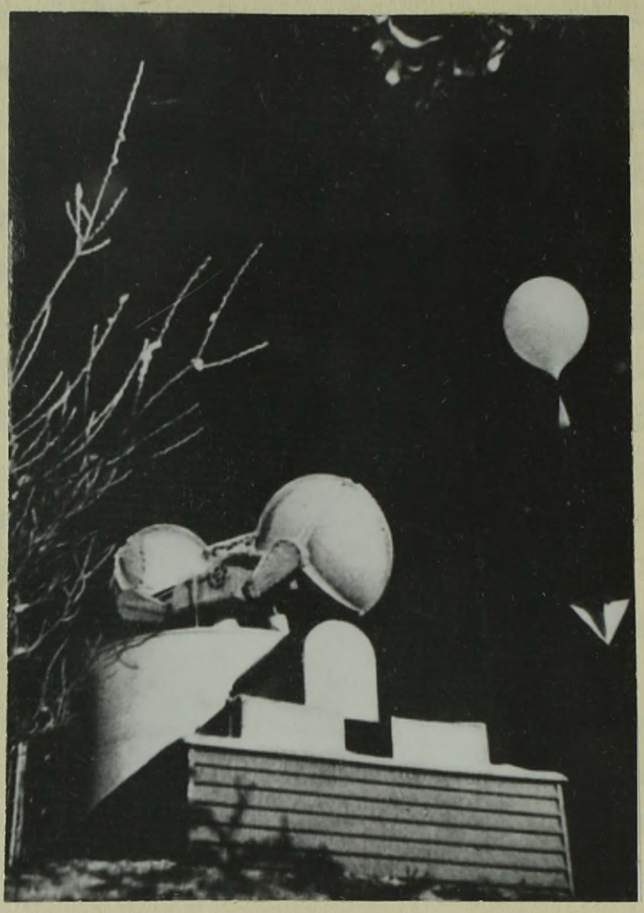
Nadajniki radiowe znajdujące się w omawianych radiosondach służą do przekazywania zebranych pomiarów meteorologicznych w postaci zakodowanej, znakami telegraficznymi w odstępach np. co 2 godziny. Obecność trzech nadajników, w omawianym przypadku, pracujących na kilku częstotliwościach, zapewnia utrzymanie łączności na różnych częstotliwościach w dowolnym czasie z gwarancją otrzymania ok.80% sygnałów

i dokładnych namiarów radiowych na odległość kilku tysięcy kilometrów. Włączenie nadajników posiadających stabilizację kwarcową, dokonuje się przy pomocy automatycznego urządzenia z mechanizmem czasowym.

Oprócz balonów z radiosondami meteorologicznymi wypuszczanymi z ziemi, stosowane są również radiosondy zrzucane z samolotów z dużej wysokości. Tego rodzaju radiosondy mogą dokonywać pomiarów meteorologicznych w rejonach znacznie oddalonych od naziemnych stacji radiolokacyjnych /meteorolog./.

Balony - sondy wykorzystywane są do określania burzowych wyładowań atmosferycznych. W tym celu balony z odpowiednią aparaturą pomiarową w gondolach, wypuszczane są na wysokość ok.20-30 km. i przy pomocy specjalnych urządzeń sterowniczych utrzymywany jest ich poziomy lot. Przyrządy pomiarowe mierzyć mogą m.in. pole elektryczne i prądy przy wyładowaniach burzowych. Wyniki pomiarów przekazywane są drogą radiową do naziemnych punktów meteorologicznych, gdzie przeprowadzane są oceny wpływu wyładowań atmosferycznych na warunki meteorologiczne.

Jak już wspomniano poprzednio, radiolokacyjne stacje meteorologiczne mogą współpracować z odbijaczami kątowymi /reflektorami kątowymi/. Na rys.37 przedstawiono moment wznoszenia się balonu meteorologicznego z podwieszonym odbijaczem kątowym. Na rys. tym widoczne są również anteny paraboliczne RSM, służące do określania i rejestracji czasu lotu odbijacza kątowego.



Rys.37. Moment wznoszenia się balonu meteorologicznego z podwieszonym odbijaczem kątowym.

5. TYPY I PRZEZNACZENIE RADIOLOKACYJNYCH STACJI METEOROLOGICZNYCH

5.1. WSTĘP

We współczesnych operacjach, w których uczestniczyć mogą wszystkie rodzaje wojsk, a działania rozciągnąć na ogromnych przestrzeniach, znajomość pełnej sytuacji meteorologicznej jest również jedynym z warunków należytego zabezpieczenia działań bojowych. Lekceważenie sytuacji meteorologicznej może niejednokrotnie doprowadzić do bardzo poważnych następstw.

W literaturze zagranicznej opisywane są wypadki świadczące o nie docenianiu wpływu warunków meteorologicznych na działania i operacje wojsk, jakie miały miejsce podczas drugiej wojny światowej.

W okresie drugiej wojny światowej siły morskie, powietrzne i lądowe wielu państw biorących udział w działaniach wojennych, niejednokrotnie miały dużo awarii i ofiar w ludziach z powodu nie zawsze pełnej znajomości warunków meteorologicznych w prowadzonych operacjach.

Obecnie, mimo ogromnych osiągnięć w technice budowy okrętów, samolotów itp. warunki meteorologiczne mimo wszystko mają olbrzymi wpływ na powodzenie przedsięwziętych operacji na lądzie, morzu i w powietrzu. Dlatego też pełna znajomość warunków meteorologicznych ma pierwszorzędne znaczenie we wszystkich rodzajach wojsk, a głównie w lotnictwie, w marynarce wojennej, w oddziałach rakietowych, desantowych itp.

Do chwili zastosowania radiolokacji w meteorologii, służba meteorologiczna przeważnie ustalała prognozy pogody na podstawie danych uzyskiwanych z naziemnych lub lotniczych punktów meteorologicznych. Wówczas nie zawsze było możliwe znanymi sposobami bezbłędne wykrycie rejonów turbulentności w atmosferze. /Turbulencją nazywamy zjawisko obecności w atmosferze dużej ilości niewielkich zwirowań powietrza o różnej rozciągłości i o osiach obrotu różnie względem siebie ułożonych, jednakże z przewagą zwierań o osi poziomej, wywołujących pionowe mieszanie się cząstek powietrza. Turbulencja powietrza rozwija się najsilniej w warstwie przyziemnej wskutek tarcia o powierzchnię ziemi podczas poziomego ruchu masy atmosferycznej/.

Zastosowanie radiolokacyjnych metod obserwacji i pomiarów w meteorologii umożliwiło prowadzenie badań meteorologicznych w warstwie przyziemnej i na dużych wysokościach. W meteorologii stacje radiolokacyjne określają prędkość i kierunek wiatru, pozwalają badać chmury, opady i zjawiska atmosferyczne. W meteorologii stacje radiolokacyjne wykorzystywane są do badań naukowych, przy zwalczaniu trąb powietrznych tzw. "tornado", do badań takich zjawisk jak: dżdżur powietrznych i chłodnych frontów w atmosferze, do badań procesów powstawania błyskawic itp.

Radiolokacyjne metody pomiarów meteorologicznych umożliwiają wykrycie wewnątrz chmur oddzielnych stref, wyraźnie odróżniających się jedna od drugiej swoimi właściwościami, jak na przykład:

strefą topnienia, która zaobserwowana na ekranie wskaźnika stacji radiolokacyjnej daje "jasny pas".

Szereg badań przeprowadzonych przy użyciu radiolokacyjnych stacji meteorologicznych wykazało, że z chwilą naprowadzania stacji na wyładowanie burzowe w momencie ich powstawania, opady jakie wówczas towarzyszą nie zasłaniają tych wyładowań. Natomiast błyskawice są widoczne i mogą wywoływać dość intensywne odbicia /zakłócenia/ radiolokacyjne.

Za pomocą radiolokacyjnych stacji meteorologicznych możliwe jest rozpoznawanie kierunku wyładowań burzowych, a ponadto m.in. możliwe jest otrzymanie względnie dokładnej mapy opadów atmosferycznych w rejonie nawet do około 250 tysięcy kilometrów kwadratowych, jeżeli zasięg wykrywania takich stacji wynosić będzie ok.280 km.

5.2. Radiolokacyjne służby meteorologiczne za granicą.

Szeroko rozbudowaną sieć radiolokacyjnych stacji meteorologicznych posiadają ZSRR, Japonia, Kanada, USA i inne kraje. Szczególnie kraje położone nad Oceanem Spokojnym wykorzystują radiolokacyjne stacje meteorologiczne do wykrywania zbliżających się tajfunów i trąb powietrznych.

Dla przykładu można wymienić, że w Japonii istnieje znakomicie zorganizowana radiolokacyjna służba meteorologiczna specjalnie przeznaczona do wykrywania tajfunów, tak często występujących nad Oceanem Spokojnym. Do tych celów służy sieć naziemnych radiolokacyjnych stacji meteorologicznych znajdujących się w Tokio, Osaka, Fukuoka, Tanega-sima, Naze, Okinawa/rys.13/, oraz jest zaplanowana dalsza budowa stacji tego typu w miejscowościach Nagoja, Murato, Mijakodzima.

Na podstawie zebranych danych przez stacje oraz przez specjalne samoloty meteorologiczne dalekiego rozpoznania i naziemne punkty meteorologiczne, wykreślane są w Japonii co godzinę mapy synoptyczne /sytuacje synoptyczne/, obrazujące stan pogody na wielkich obszarach. Metoda przewidywania pogody za pomocą map synoptycznych opiera się na tej podstawie, że jednakowy typ pogody występuje równocześnie na rozległym obszarze geograficznym i że z biegiem czasu przemieszcza się - pod wpływem pewnych warunków z jednego obszaru na drugi, a jego miejsce poprzednie zajmuje inny typ pogody. Stąd w rzeczywistości może na pewnym olbrzymim obszarze geograficznym występować równocześnie kilka typów pogody. Taka

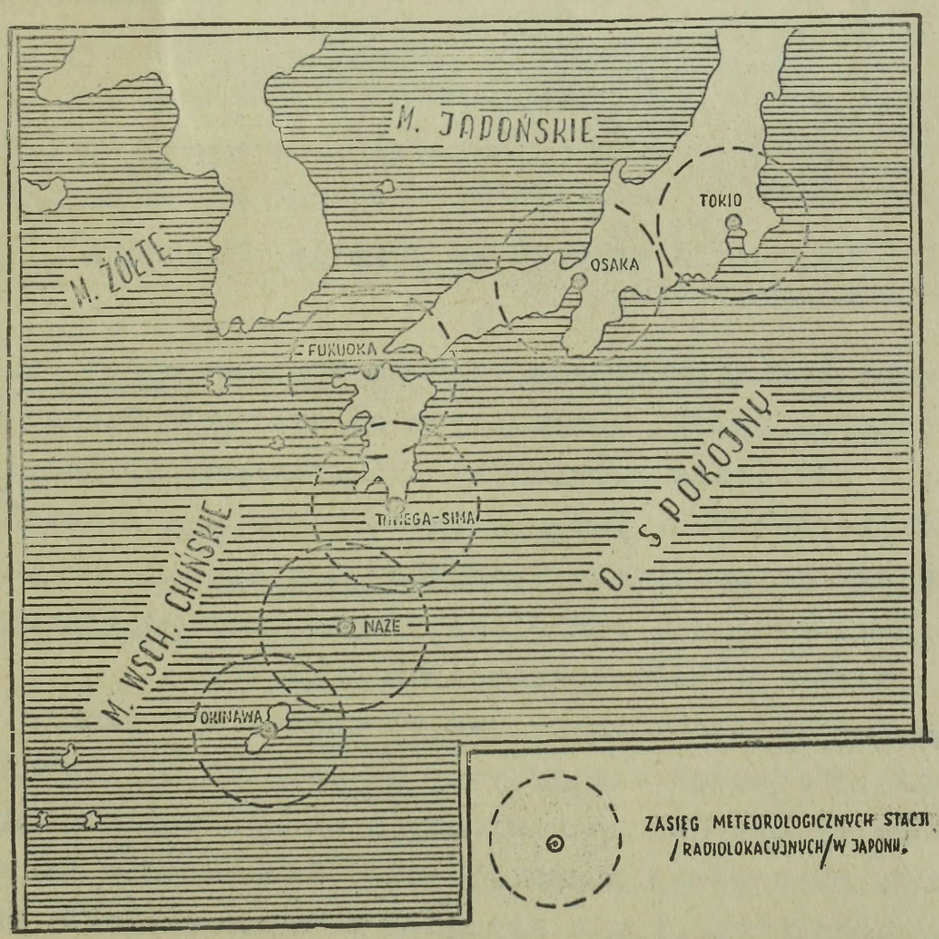
więc mapa, na której w sposób poglądowy jest przedstawiony rozkład współczesnej pogody na pewnym obszarze geograficznym w określonym czasie nazywa się mapą synoptyczną.

Szczególnie w Japonii, radiolokacyjne stacje meteorologiczne przydatne są w wykrywaniu licznych tajfunów a ponadto stacje te odgrywają zasadniczą rolę w śledzeniu tych tajfunów i umożliwiają w każdym momencie ustalenie, gdzie znajduje się "oko" cyklonu.

W miarę zbliżania się tajfunu na ekranie wskaźnika stacji meteorologicznej, można zobrazować najpierw zewnętrzną strefę opadów, a gdy "oko" cyklonu odległe jest o 250-300 km od stacji, zaczyna być widoczna zewnętrzna strefa opadów otaczających centrum tajfunu.

Na rys.39 widoczne jest "oko" tajfunu, a z prawej strony widoczny jest "ogon" tegoż tajfunu.

Jak z powyższego wynika, w meteorologii stacje radiolokacyjne są stosowane zarówno do badań meteorologicznych i naukowych jak również do wykrywania a nawet zwalczania trąb powietrznych /"tornado"/.



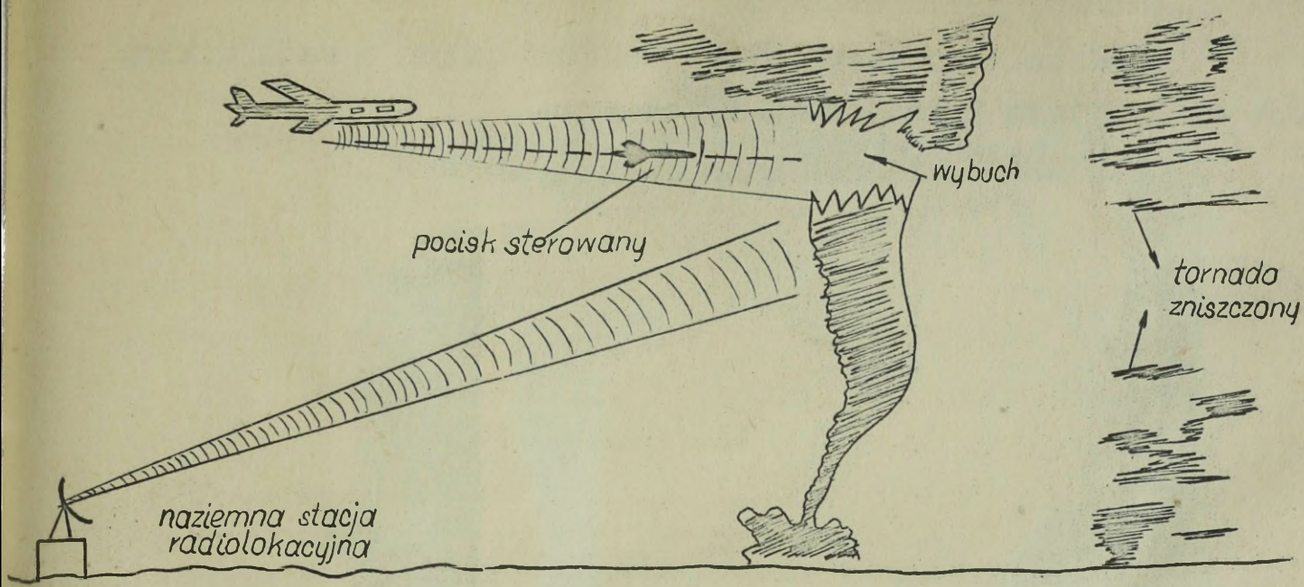
Rys.38. Schemat rozmieszczenia radiolokacyjnych stacji meteorologicznych w Japonii.

Na rys.39 przedstawiono zobrazowanie tajfunu na ekranie wskaźnika panoramicznego stacji radiolokacyjnej.



Rys.39. Zobrazowanie tajfunu na ekranie wskaźnika panoramicznego.

Trąby te są wykrywane, jak wspomniano wyżej, za pomocą specjalnych stacji ustawionych na wybrzeżu Oceanu Spokojnego, a następnie rozpraszane /niszczone/ za pomocą pocisków sterowanych. Pociski te są wyrzucane z samolotu wylatującego na spotkanie "tornado" i sterowane za pomocą samolotowych urządzeń radiolokacyjnych przy współpracy naziemnych stacji radiolokacyjnych /rys.40/.
Oczywiście przedstawiona na rys.40 zasada wykrywania i niszczenia "tornado" nie dotyczy wszystkich możliwych przypadków wykorzystania naziemnych stacji radiolokacyjnych, które mogą mieć różne przeznaczenie. Zagadnienia te zostały znacznie uogólnione i nie możnaich przyjmować jako reguły.



Rys.40. Zasada wykrywania i niszczenia "tornado"

5.3. Stacja amerykańska AN/CPS-9

Jako przykład stacji meteorologicznej służącej dla określania wymiarów, intensywności, kierunku i szybkości poruszania się cyklonów, huraganów itp., może służyć stacja amerykańska AN/CPS-9 zainstalowana na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych dla ochrony Bostonu k/Nowego Yorku.

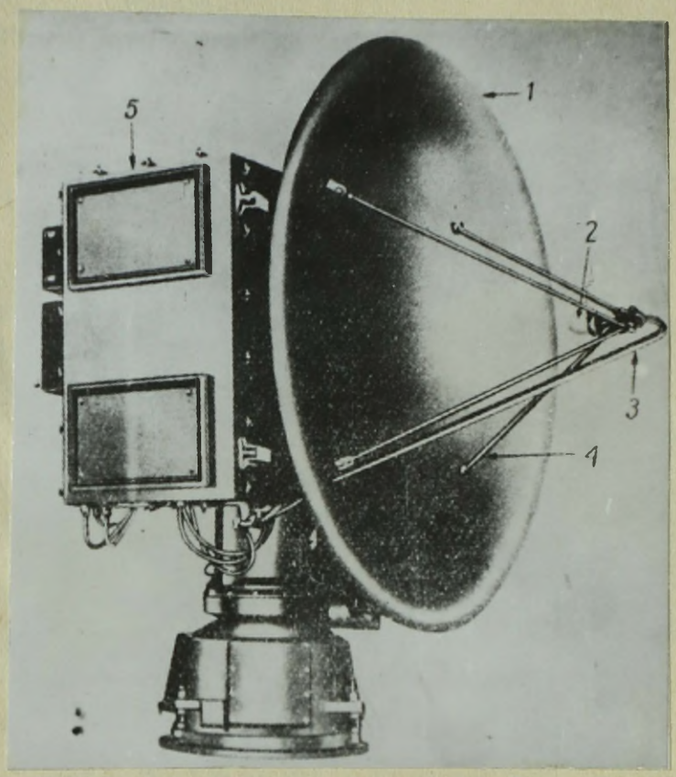
5.3.1. Dane techniczne stacji AN/CPS-9

1. Moc w impulsie	250 kW
2. Długość fali roboczej	3,2 cm
3. Zysk anteny	36
4. Szerokość wiązki	
a/ w płaszczyźnie poziomej	1^{o}
b/ w płaszczyźnie pionowej	1^{o}
5. Szerokość impulsu	0,5 i 5 μ sek.
6. Czułość odbiornika	$1{,}6 \cdot 10^{-13} \div 1{,}6 \cdot 10^{-14}$ W.

Powyższe dane techniczne amerykańskiej radiolokacyjnej stacji meteorologicznej podane zostały w celu ogólnego zorientowania się o możliwościach technicznych tego typu stacji. Prasa zachodnia podała, że stacje AN/CPS-9 mają być zastąpione bardziej nowoczesnymi urządzeniami i o lepszych parametrach taktyczno-technicznych.

5.3.2. Budowa stacji AN/CPS-9

Urządzenie antenowe wraz z odbiornikiem i nadajnikiem radiolokacyjnym przedstawia rys.41.

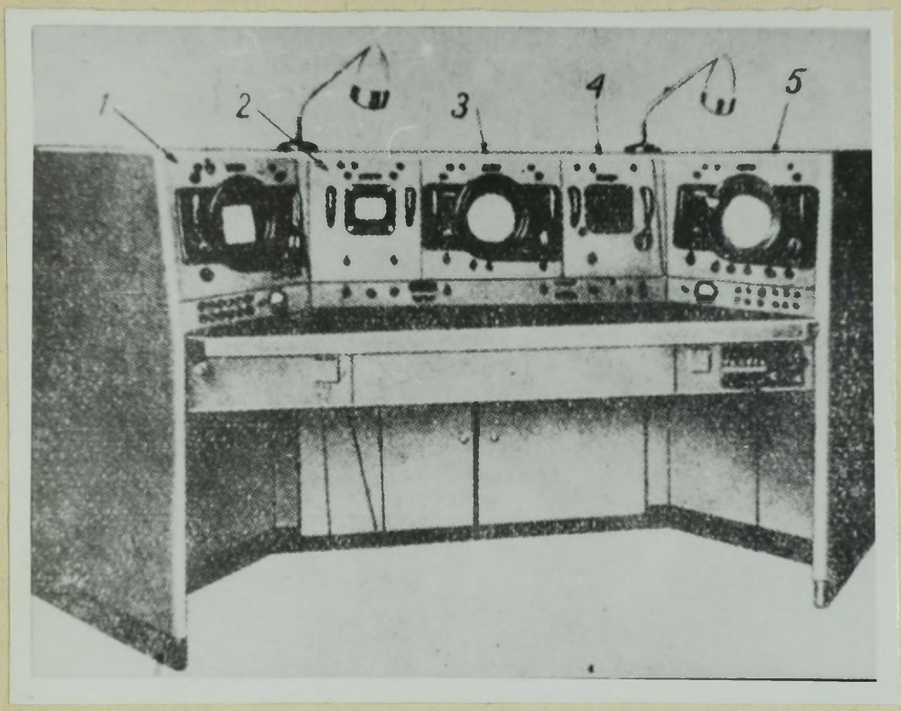


Rys.41. Urządzenie antenowe wraz z odbiornikiem i nadajnikiem radiolokacyjnym stacji AN/CPS-9.
/Omówienie oznaczeń w tekście/.

Na rys.41 oznaczono: 1-reflektor, 2-róg promieniujący /dipol/, 3-falowód, 4-podpora, 5-blok nadawczo-odbiorczy.

Antena stacji AN/CPS-2, przy wybieraniu /przeszukiwaniu/ przestrzeni wykonuje w sposób ciągły ok. 5 obrotów na minutę. Po wykryciu np. burzy na wskaźniku P /panoramicznym/ antena może być zatrzymana na danym kierunku /azymucie/, względnie może dokonywać przeszukiwania sektorowego w zakresie 50° na dowolnym azymucie. Można nią /tzn. anteną/ także wybierać przestrzeń w płaszczyźnie pionowej, wykorzystując do tego celu odpowiedni wskaźnik /R-H/.

Pulpit sterowniczy stacji AN/CPS-2, przedstawiony na rys.42 zawiera 5 wskaźników.



Rys.42. Pulpit sterowniczy stacji radiolokacyjnej typu AN/CPS-9 /1,2,3,4,5-wskaźniki/.

Uwidocznione na rys.42 wskaźniki są typów: 1-wskaźnik typu RH, 2-wskaźnik typu A, 3-wskaźnik typu P, 4-wskaźnik kontrolny /typu A/, 5-wskaźnik P z przesuwanym środkiem. We wskaźnikach typu P zastosowano 7-mio całowe lampy oscyloskopowe.

Zakresy wskaźników w stacji AN/CPS-9 są następujące:

1. Dla wskaźnika typu P:
   - 25 i 75 mil przy pracy z wąskim impulsem;
   - 25,27,200,400 mil przy pracy z szerokim impulsem.
2. Dla wskaźnika typu RH:
   - 10,25,50,75 mil przy pracy z wąskim impulsem;
   - 100 mil przy pracy z szerokim impulsem.
3. Dla wskaźnika typu A:
   - do 75 mil przy pracy z wąskim impulsem;
   - do 400 mil przy pracy z szerokim impulsem.

Ponadto wskaźnik typu A, posiada możliwość przesuwania dowolnego odcinka 5-cio, względnie 20 milowego w celu zmierzenia dokładnego zasięgu i głębokości np. opadu atmosferycznego.

Niezależnie od stacjonarnych wskaźników, a więc zainstalowanych w pulpicie sterowniczym, stacja AN/CPS-9 wyposażona jest w wynośny wskaźnik typu P, który można rozmieścić w odległości do pół mili od stacji.

Badania zjawisk meteorologicznych za pomocą radiolokacyjnej stacji AN/CPS-9 przeprowadzane są w sposób ciągły. Otrzymywane regularnie meldunki są skrupulatnie badane i wykorzystywane do opracowania prognoz pogody.

Ciekawy jest również fakt, że z reguły każda stacja AN/CPS-9 wyposażona jest w aparat fotograficzny, który może również w sposób ciągły filmować ciekawsze zjawiska meteorologiczne. Pozwala to na porównywanie wyników dotyczących tych samych obserwacji, lecz otrzymywanych za pomocą innych przyrządów.

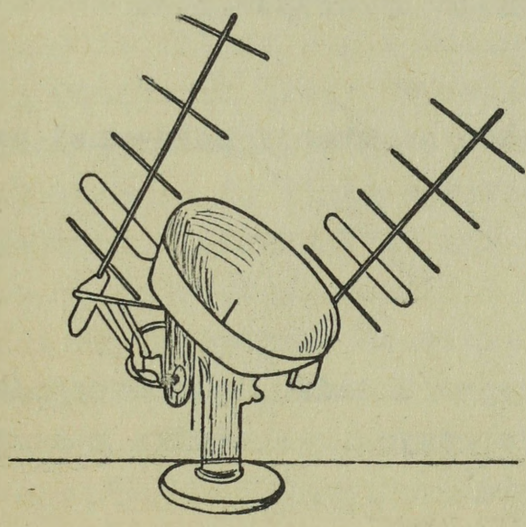
Zwróćmy również uwagę na fakt, że często do obserwacji opadów atmosferycznych, podobnie jak w przypadku stacji AN/CPS-9 , wykorzystuje się również wskaźnik typu A. Zobrazowania na tym wskaźniku nie pozwalają otrzymywać obrazu obserwowanej przestrzeni, jak to ma miejsce na wskaźniku P, ale za to echa, pochodzące od obszarów o większym natężeniu opadu, dają się łatwiej rozpoznać na tle szumów. Dość często staje się możliwe odróżnienie opadów deszczu od gradu czy też śniegu. Zaletą również wskaźnika typu A jest to, że można z łatwością wykrywać bardzo słabe echa, ze względu na brak strat związanych z wybieraniem przestrzeni, gdyż obserwacji dokonuje się przy zatrzymanej antenie.

Meteorologom zależy często na analizie przestrzeni, nie w płaszczyźnie poziomej, lecz w pionowej. Wówczas do tego celu wykorzystuje się wskaźnik typu RH, dający zobrazowanie w postaci impulsu echa we współrzędnych R i H /odległość i wysokość/.

Warto podkreślić, że w Stanach Zjednoczonych początkowo do badania zjawisk meteorologicznych w atmosferze nie projektowano specjalnych stacji meteorologicznych a wykorzystywano jedynie radiolokacyjne stacje wojskowe, które były odpowiednio przystosowane do tych badań. Dopiero w 1952 r. w USA, na zamówienie wojska zaprojektowano i zbudowano specjalną stację dla służby meteorologicznej AN/CPS-9 i do 1958 r. wyprodukowano ponad 56 sztuk tych stacji.

5.4. Angielska meteorologiczna stacja radiolokacyjna

Obecnie omówimy angielską naziemną stację radiolokacyjną, używaną do współpracy z radiosondami i pomiarów meteorologicznych. Na rys.42 przedstawiono schematycznie urządzenia antenowe tej stacji.



Rys.43. Anteny angielskiej meteorologicznej stacji radiolokacyjnej.

Wspomniana wyżej angielska meteorologiczna stacja radiolokacyjna umożliwia:

- określenie prędkości i kierunku wiatru w górnych warstwach atmosfery w promieniu ok. 160 km;
- automatyczne pomiary temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza.

Stacja ta stanowi w zasadzie pewnego rodzaju urządzenia wywoławcze z automatycznym śledzeniem we współrzędnych kierunkowych urządzenia odzewowego. Stacja współpracuje z urządzeniami umieszczonymi na balonie meteorologicznym. Na balonie tym umieszczone są dwa komplety urządzeń odzewowych, składające się każda z nadajnika i odbiornika, odbierającego sygnały wywoławcze.

Jedno z tych urządzeń służy dla określania odległości do balonu, a więc przy znanym kącie wzniesienia i azymucie będzie można określać szybkość poruszania się balonu a więc i szybkość wiatru oraz wysokość, na której ta szybkość będzie mierzona.

Drugi komplet urządzenia odzewowego służy do przesyłania parametrów atmosfery. Gdy balon osiąga maksymalną wysokość ok. 30 km, powłoka jego rozrywa się i na spadochronie spada aparatura balonu na ziemię. Podczas spadania cały czas pracuje urządzenie odzewowe, dzięki czemu można określić miejsce upadku aparatury celem jej powtórnego wykorzystania.

Aparatura stacji.

Aparaturę zainstalowaną na stacji naziemnej można podzielić na:

- radiolokacyjną;
- przeliczeniową;
- rejestrującą.

Aparatura radiolokacyjna składa się z nadajnika fal metrowych, odbiornika fal centymetrowych, wskaźnika z urządzeniem śledzącym oraz bloku sterowania.

Dane techniczne stacji:

1/ Moc w impulsie	50 kW
2/ Częstotliwość nośna nadajnika	152,5 MHz
3/ Czas trwania impulsu	2 μ sek.

Urządzenie posiada linie przesyłowe oraz 2 anteny typu Yagi a całość wraz z nadajnikiem spełnia rolę urządzenia wywoławczego.

Odbiornik na częstotliwości 2850 MHz wraz z linią przesyłową i anteną paraboliczną o średnicy 1,5 m, kierowaną na wysyłany balon meteorologiczny /radiosondę/, umożliwia odbiór sygnałów odzewowych, przyczem sygnały te sterują urządzeniem automatycznego śledzenia radiosondy. W tym celu w ognisku reflektora parabolicznego znajduje się niesymetryczny dipol wirujący, dzięki czemu uzyskuje się odbiór, jak przy przeszukiwaniu stożkowym. W przypadku powstania sygnału błędu, gdy oś anteny parabolicznej odchyli się od kierunku na antenę urządzenia odzewowego, na balonie meteorologicznym nastąpi

automatyczne śledzenie za radiosondą. Urządzenie przeliczające określa kierunek wiatru, zaś przyrządy rejestrujące umożliwiają zapis wszystkich otrzymywanych informacji.

Na rys.43a podano uproszczony schemat blokowy omówionej meteorologicznej stacji radiolokacyjnej.

Ze schematu blokowego przedstawionego na rys.43a widzimy, że urządzenie składa się z dwóch podstawowych części:

- z radiosondy
- z urządzenia naziemnego.

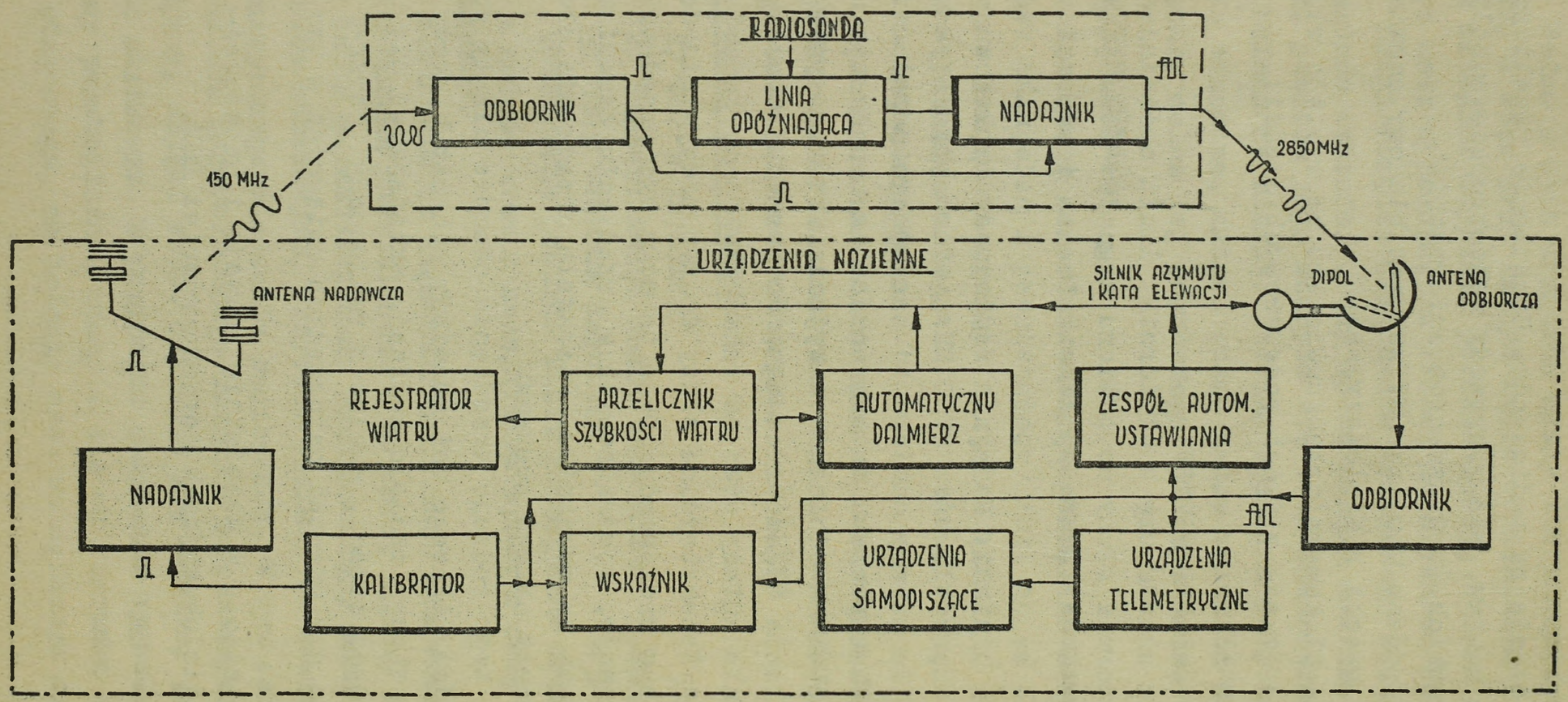
Radiosonda składa się z odbiornika linii opóźniającej i nadajnika. Odbiornik służy do odbioru sygnałów sterujących z anteny urządzenia naziemnego przekształcenia i wzmacniania, skąd przekazywane są do linii opóźniającej i nadajnika radiosondy oddzielnymi liniami. Nadajnik radiosondy wypracowuje sygnały w.cz. o częstotliwości 2850 MHz, które przekazywane są drogą radiową do anteny odbiorczej naziemnego urządzenia.

Sygnały odebrane przez antenę odbiorczą urządzenia naziemnego podawane są na odbiornik z wyjścia, którego przekazywane są do urządzenia telemetrycznego, do zespołu automatycznego ustawiania anteny oraz na wskaźnik.

Urządzenie telemetryczne służy do wypracowywania danych przekazanych z radiosondy. Dane te mogą być przedstawione w formie diagramów, sporządzonych w urządzeniu samopiszącym lub zobrazowane na wskaźniku. Pozostałe urządzenia służą do koordynacji pracy całego systemu.

Dodajmy, że tego rodzaju urządzenia obecnie uległy poważnym modyfikacjom, dlatego też omówiony schemat blokowy meteorologicznej stacji radiolokacyjnej, składającej się z dwóch podstawowych części, a więc z radiosondy i urządzenia naziemnego nie stanowi najnowszych osiągnięć w tym kierunku.

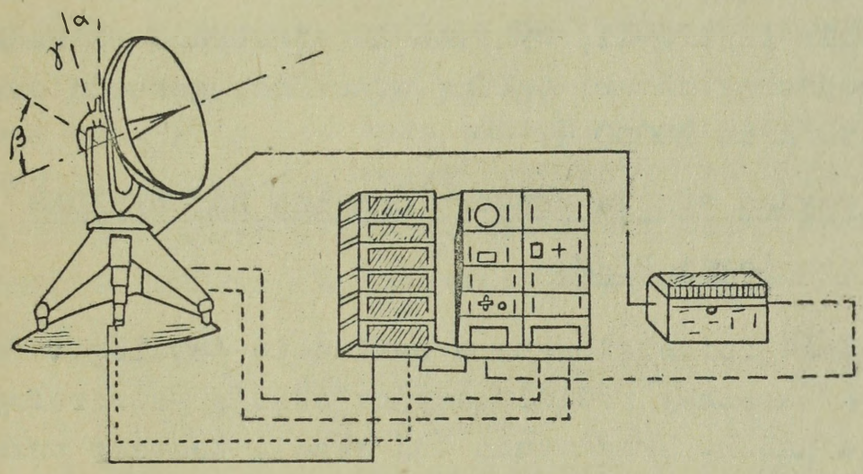
Współczesne osiągnięcia w dziedzinie rozwoju i unowocześnienia stacji radiolokacyjnych dotyczą również RSM.



Rys.43a. Schemat blokowy typowych urządzeń naziemnych i pokładowych radiosondy.

5.5. Stacja meteorologiczna typu Lawin AN/GMD-1B

Radiolokacyjna stacja meteorologiczna typu Lawin AN/GMD-1B przeznaczona jest do badania wysokościowych wiatrów w Szwajcarii /widok schematyczny tej stacji przedstawia rys.44/.



Rys.44. Schematyczny wygląd meteorologicznej stacji radiolokacyjnej typu AN/GMD-1B/

5.5.1. Dane techniczne stacji

1/ Moc w impulsie	30 kW
2/ Długość fali	3,2 cm
3/ Czas trwania impulsu	0,5 μsek
4/ Częstotliwość powtarzania impulsu	1000 imp/sek
5/ Szerokość wiązki	2,4°

Stacja Lawin AN/GMD-1B jest zdolna również do automatycznego śledzenia celu, tj. balonu meteorologicznego z reflektorem wagowym.

5.5.2. Amerykańskie urządzenia AB/TPQ-11

W końcu 1965 r. ukazała się wzmianka w prasie, że na wyposażenie służby meteorologicznej sił powietrznych USA weszły nowe urządzenia radiolokacyjne do wykrywania i pomiarów chmur.

Sprawdzenie urządzenia typu Lear Siegler AN/TPQ-11 wykazało całkowitą sprawność i przydatność w służbie meteorologicznej. W związku z tym urządzenia te zaplanowano

zainstalować w 43 bazach lotniczych USA.

Urządzenia typu Siegler AN/TPQ-11 mogą wykrywać chmury przyziemne i dokonywać pomiaru zapisu.

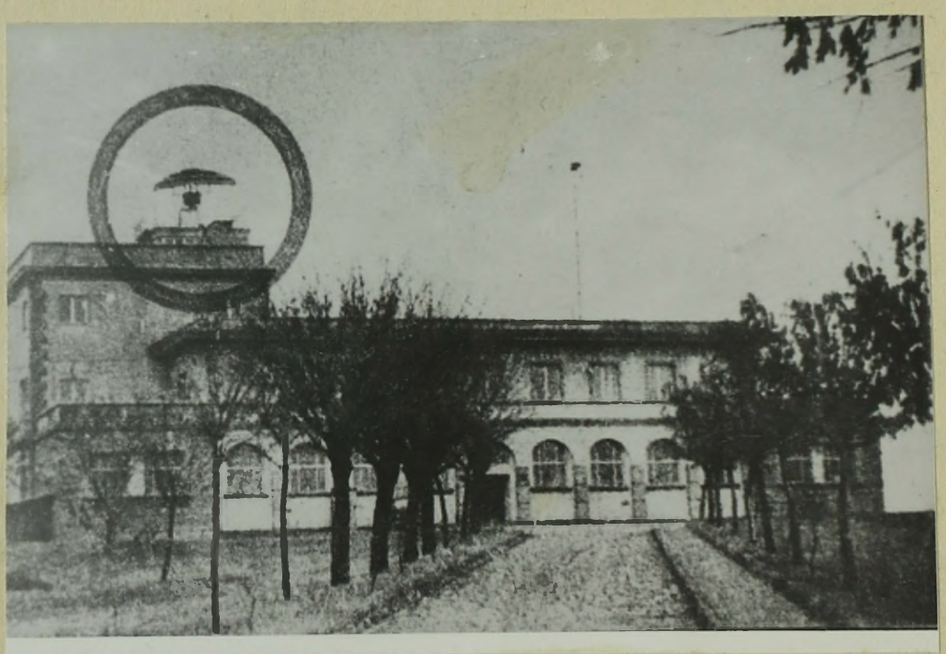
Nowe urządzenia posiadają system automatycznego zapisywania i rejestrowania ruchów chmur, jak również ich poprzecznego przekroju.

Urządzenie AN/TPQ-11, wykrywa i rejestruje wierzchołki i dalsze podstawy chmur, ogólną wysokość, gęstość oraz przekrój od 150 m do 20000 m.

5.6. Radiolokacyjna stacja meteorologiczna Desca/RADAR Zakładu Aerologii PIHM.

W roku 1964 zainstalowano w zakładzie Aerologii PIHM w Legionowie k/Warszawy radiolokacyjną stację meteorologiczną firmy Desca RADAR. Urządzenia tej stacji zostały przekazane PRL przez ONZ za pośrednictwem Swiatowej Organizacji Meteorologicznej w ramach pomocy technicznej dla naszego kraju.

Na rys.45 uwidoczniono ogólny widok budynku głównego Zakładu Aerologii PIHM. /Na fotografii w kole widoczna jest antena radiolokacyjnej stacji meteorologicznej/.



Rys.45. Budynek Zakładu Aerologii PIHM z widoczną w kole anteną stacji meteorologicznej.

Urządzenie radiolokacyjne, zainstalowane w Zakładzie Aerologii, jest systematycznie i w pełni wykorzystywane do pracy naukowo-badawczej. Wyniki pierwszych obserwacji i prób wykazały, że urządzenie to pozwoli znacznie rozszerzyć spodziewany zakres obserwacji i zapoczątkuje nowy kierunek w badaniach meteorologicznych w Polsce.

Za pomocą wspomnianego urządzenia prowadzi się badania w zakresie budowy chmur, pomiaru natężenia i ilości opadów oraz szereg innych doświadczeń. Tego rodzaju przedsięwzięcia umożliwiają między innymi opracowanie dokładnych prognoz meteorologicznych i hydrologicznych. Urządzenie to umożliwia również dokładną i systematyczną obserwację burz w promieniu około 300 km:

Niezwykle szybkie bo natychmiastowe wyniki tych obserwacji pozwolą służbie synoptycznej zabezpieczyć w pełni np. lotnictwo przed niespodziankami, grożącymi samolotom ze strony burz. Wyniki dotychczasowych obserwacji wykazały, że możliwe jest przy pomocy tej stacji:

- określenie strefy opadowej;
- śledzenie przemieszczania się i rozwoju strefy opadowej;
- obserowanie rozwoju chmury od powstania aż do opadu;
- obserwowanie i mierzenie na bieżąco opadów atmosferycznych, /wielkość, intensywność/;
- kierunek i prędkość przemieszczania burz i chmur burzowych;
- wyznaczenie położenia izotermy zero itp. /Izoterma zero określa strefę, w której następuje przejście kropelek wody tworzących chmurę ze stanu ciekłego w stały np. w lód/.

Z tego krótkiego przeglądu wynika, że uarządzenia meteorologiczne /radiolokacyjne/ umożliwiają obserwację zarówno ilościową jak i jakościową zjawisk zachodzących w atmosferze w takim stopniu, w jakim nie było to możliwe. Wyniki tych obserwacji służą wielu dziedzinom naszej gospodarki.

Dodajmy przy tym, żeby nowe, precyzyjne urządzenia, jakimi niewątpliwie są stacje meteorologiczne, właściwie spełniały swe zadania: konieczny jest odpowiednio przygotowany personel. Personel Pracowni Radiometeorologii przy Zakładzie Aerologii PIHM, został przeszkolony w Katedrze Techniki Fal Ultrakrótkich Politechniki Warszawskiej. W roku 1964 przebywał też w Zakładzie specjalista

Światowej Organizacji Meteorologicznej Włodzimierz Krawec ze Związku Radzieckiego, który specjalnie zajmował się zagadnieniami dotyczącymi rozwoju tej tak bardzo ważnej placówki naukowo-badawczej, jaką jest Pracownia Radiometeorologii Zakładu Aerologii PIHM. Ponadto w ramach pomocy technicznej ONZ przyznane były dla pracowników tej placówki cztery staże naukowe w Wielkiej Brytanii. Robi się więc wiele, by pierwsza w Polsce placówka PIHM, posługująca się w swych obserwacjach i badaniach urządzeniami radiolokacyjnymi, wykorzystała w pełni swe możliwości i by stała się dobrą pozycją wyjściową dla projektowanej na przyszłość krajowej sieci radiolokacyjnych stacji meteorologicznych.

Zainstalowany w Zakładzie Aerologii PIHM radar meteorologiczny, wyprodukowany przez firmę DEA itd. w Wielkiej Brytanii, składa się, mówiąc najogólniej z zespołu urządzeń, zainstalowanych na zewnątrz budynku oraz z aparatury znajdującej się w pomieszczeniu operacyjnym.

Do urządzeń zespołu anteny tego typu stacji zaliczamy samą antenę obracającą się w czasie pracy o 360°, mechanizm napędowy tej anteny oraz obok anteny zainstalowany nadajnik.

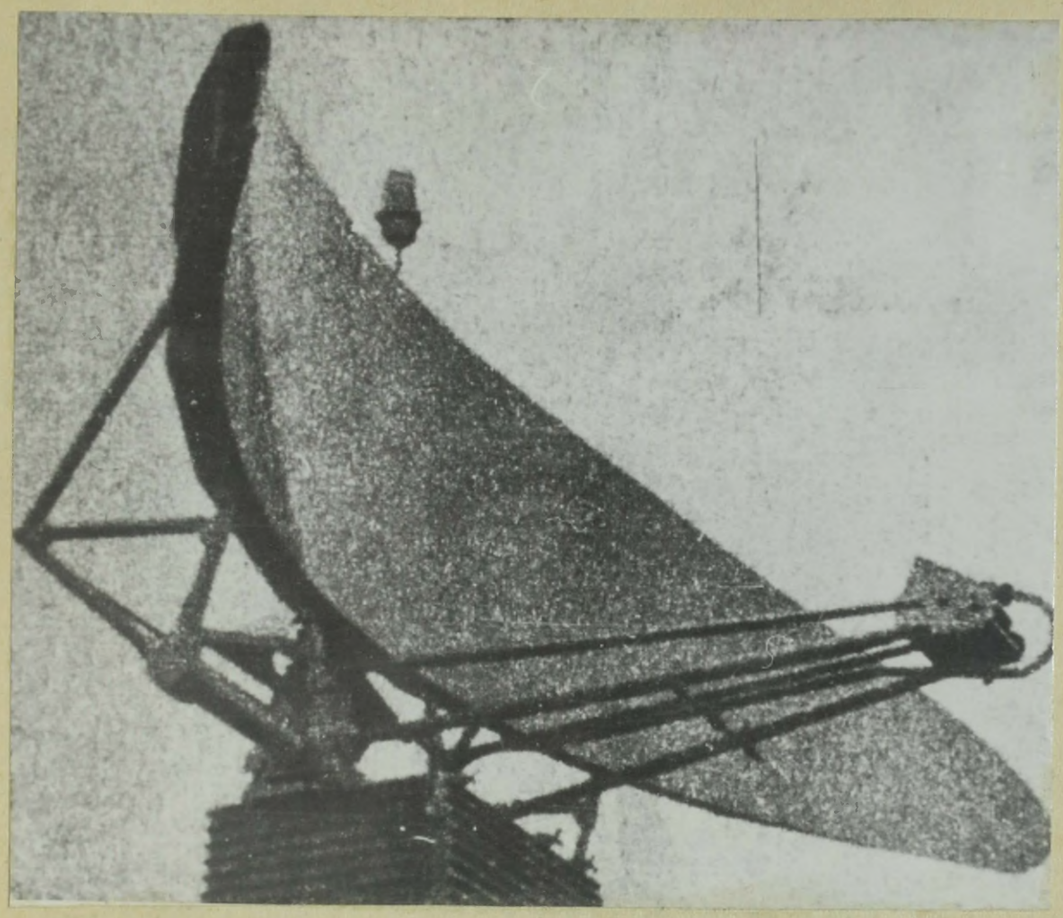
Natomiast w pomieszczeniu operacyjnym znajdują się:
- pulpit sterowniczy;
- wskaźnik panoramiczny;
- odbiornik;
- układ zasilania.

Na rys.46 przedstawiono ogólny widok anteny radiolokacyjnej stacji meteorologicznej Zakładu Aerologii PIHM.

Urządzenia radiolokacyjne posiada nadajnik o mocy 20 kW w impulsie. Wysyłana wiązka fal elektromagnetycznych ma wymiary:

- w poziomie 0,6°
- w pionie 2,7°

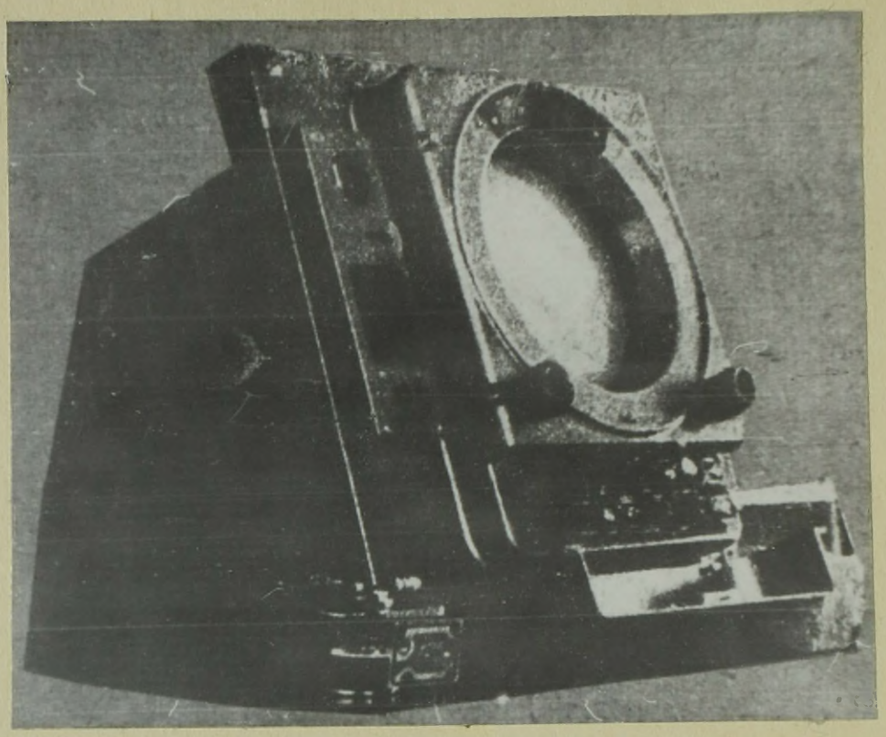
Długość fali, na której pracuje stacja radiolokacyjna zainstalowana w Zakładzie Aerologii wynosi 3 cm. Wyniki obserwacji meteorologicznych odczytuje się na ekranie wskaźnika panoramicznego /rys.47/.



Rys.46. Antena radiolokacyjnej stacji meteorologicznej Zakładu Aerologii PIHM

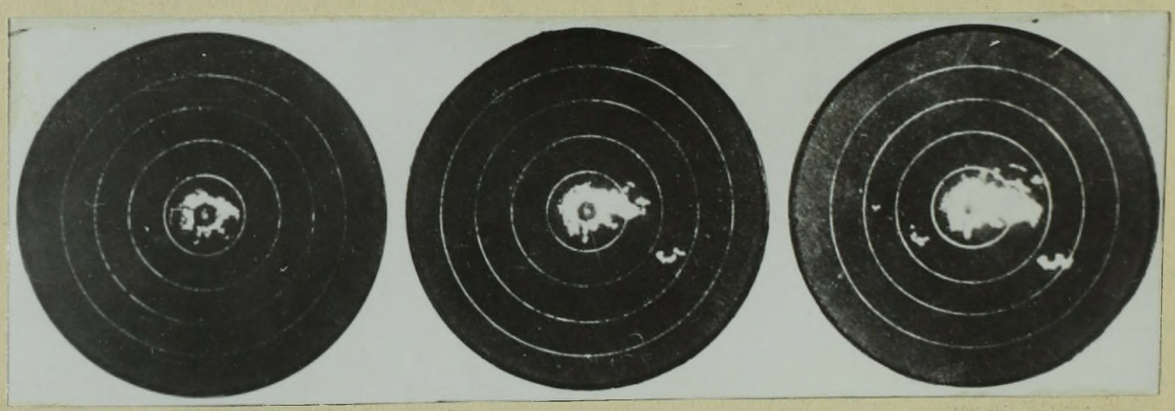
Jak podają niektóre źródła, zasięg omawianej stacji radiolokacyjnej może wynosić nawet około 400 km. Jednakże przy takim zasięgu, tzn. z takiej odległości, obserwować można tylko bardzo intensywne opady lub wysokie chmury burzowe np. gradowe. Chmury jak wiadomo, mogą się składać z kropelek wody lub kryształtków lodu. Radioecho widziane na ekranie, wykazuje wówczas różnicę zależną od wymiarów cząsteczek chmury, wskutek czego można odróżnić poszczególne rodzaje chmur. Natomiast brak echa na pewnych obszarach pozwala określić granicę i zasięg chmury.

Podobnie przedstawia się sprawa z opadami, których ilość stanowi miarę ich natężenia czyli intensywność. Z założeń teoretycznych i odpowiednich obliczeń wynika, że na przykład opad deszczu o natężeniu 10 mm na godzinę, można skutecznie obserwować z odległości około 300 km. natomiast opad o natężeniu 1 mm/godz - z odległości 100km.



Rys.47. Wskaźnik panoramiczny /typu P/ radiolokacyjnej stacji meteorologicznej Zakładu Aerologii PIHM.

Na rys. 48 poglądowo zilustrowano zobrazowanie chmur /jasne plamy/ na ekranie wskaźnika panoramicznego w stadium ich tworzenia się.

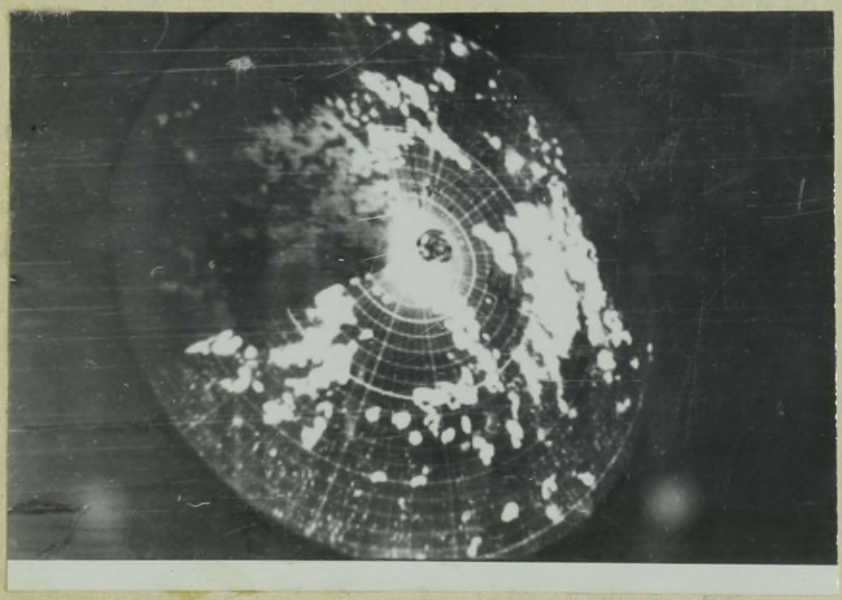


Rys.48. Zobrazowanie tworzących się chmur zarejestrowane na ekranie wskaźnika typu "P".

Na rysunkach tych widoczne są również znaczniki w postaci jasnych kół. Znaczniki tworząc jasne punkty, przy obracającej się antenie wyglądają jak koła/które mogą trwać dłużej lub zanikać szybciej/ i ułatwiają one odczyt odległości. Miarą odległości obiektu /w naszym przypadku

chmur/ jest odległość echa od środka ekranu, miarą zaś azymutu kąt, pod jakim echo rysuje się na ekranie.

Skoro mowa o zobrazowaniu opadów atmosferycznych na wskaźniku panoramicznym, to warto dla przykładu przedstawić bardziej dokładne zobrazowanie takich opadów, które dla niektórych typów stacji radiolokacyjnych /nie stacji meteorologicznych/ mogą stanowić poważne zakłócenia przypadkowe, zwane zakłóceniami atmosferycznymi. Na rys. 49 przedstawiono zobrazowanie chmur na ekranie typu P, na którym widoczne są bardzo wyraźnie chmury w postaci jasnych plam na ciemnym tle wskaźnika.



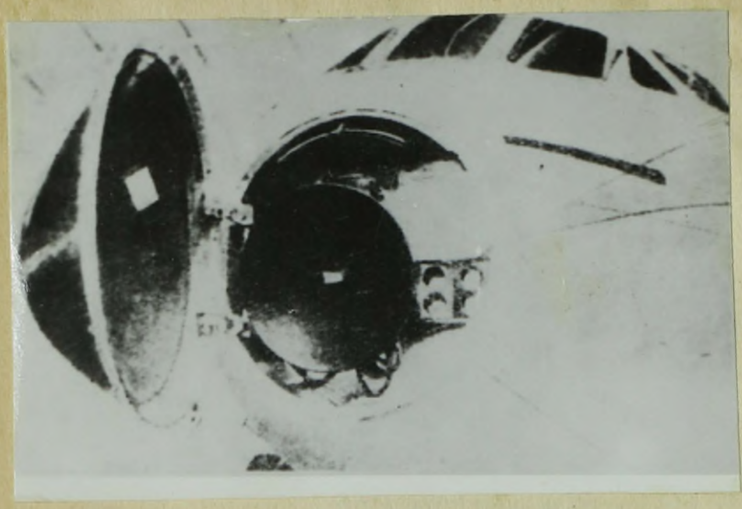
Rys.49. Zobrazowanie chmur na ekranie wskaźnika panoramicznego stacji radiolokacyjnej.

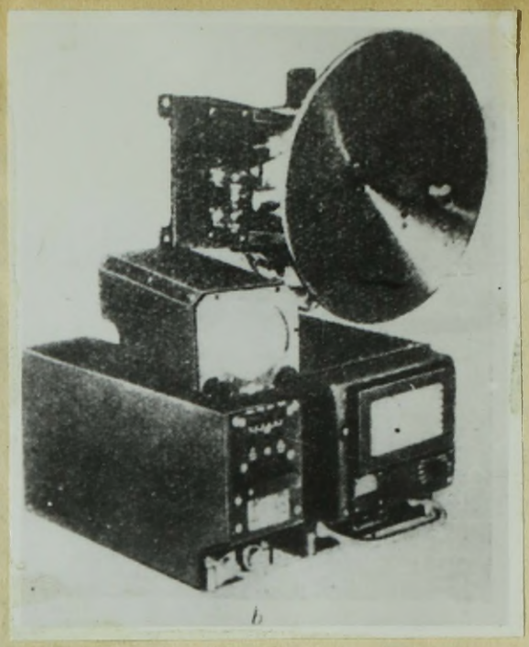
5.7. Radiolokacyjne stacje przeciwburzowe.

Bardzo często na samolotach, szczególnie pasażerskich, umieszcza się specjalne urządzenia radioelektroniczne, którymi są samolotowe radiolokacyjne stacje przeciwburzowe.

Na rys.50a - pokazano antenę takiej stacji radiolokacyjnej, wykrywającej chmury burzowe z odległości setek kilometrów, a na rys. 50-b widok zestawu takiej stacji.

Antena tego rodzaju radiolokacyjnej stacji przeciwburzowej jest zainstalowana w przedniej części kadłuba samolotu. Pozostałe elementy stacji /układy/ są zainstalowane wewnątrz samolotu w kabinie pilotów.





Rys.50. Antena radiolokacyjnej stacji meteorologicznej w samolocie /a/ oraz widok zestawu takiej stacji /b/.

Wiadomo jest, że samolotowe radiolokacyjne stacje nawigacyjne również zabezpieczały przy ówczesnych niezbyt wielkich szybkościach, przed zderzeniem z innym samolotem, umożliwiając dostrzeżenie go w odległości ok. 30-50 km, jak również chroniły samolot przed zderzeniem z różnymi wysokimi obiektami jak góry, maszty itp.

Wzrost szybkości i pułapów samolotów zarówno komunikacyjnych, jak i wojskowych przyczynił się do dalszego rozwoju tych stacji. Ponieważ opracowanie stacji uniwersalnej, która spełniałaby jednakowo skutecznie wszystkie wymagania nie było możliwe, przeto konstrukcję skoncentrowano głównie na zdolności stacji radiolokacyjnych do wykrywania burz i innych przeszkód na drodze lotu samolotu Stąd też często spotykana nazwa takich stacji jako "przeciwburzowe" /weather radar/.

Dodajmy również, że pozostałe informacje, takie jak np. uzyskiwanie "radiolokacyjnej" mapy terenu w takich stacjach mają charakter uzupełniający, ze względu na to wykorzystuje się dla nawigacji samolotu specjalne urządzenia nawigacyjne, umożliwiające uzyskiwanie znacznie dokładniejszych informacji.

Konstrukcja przeciwburzowych stacji radiolokacyjnych jest szczególnie skomplikowana, jeśli uwzględni się konieczność zastosowania odpowiedniej długości fal. Jeżeli z jednej strony uwzględni się fakt, że stosowane fale w

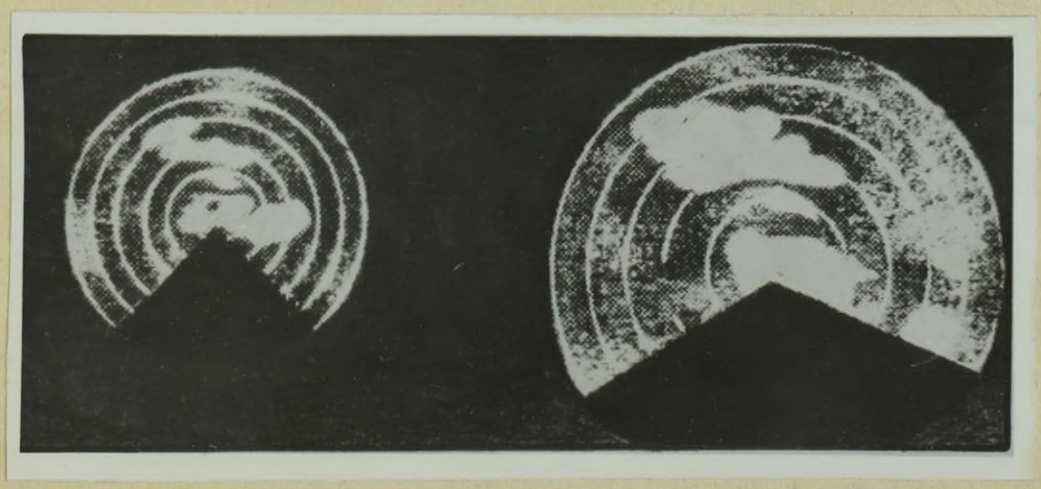
paśmie 3 cm umożliwiały uzyskanie małych szerokości wiązek, przy małych rozmiarach anten, to z drugiej okazało się, iż stosowanie nieco dłuższych fal o λ = 5,5 cm jest korzystniejsze ze względów eksploatacyjnych. W grę wchodzi tu przede wszystkim to, że fale o λ = 3 cm są silniej tłumione oraz silniej odbijane, co zostało już udowodnione poprzednio:

Dokonujemy pewnego porównania - otóż przy typowej średnicy reflektora parabolicznego D = 56 cm, umożliwiającego łatwe umieszczenie anteny w przedniej części kadłuba samolotu, szerokość wiązki przy fali o λ = 3,2 cm jest rzędu 3,8° zaś przy fali o λ = 5,55 cm jest rzędu 7°, co oczywiście ma duże znaczenie.

Udowodniono już poprzednio, że wielkość mocy odbitych sygnałów od chmur, zależy od odbić od kropli deszczu i kryształków lodu tworzących takie obłoki. Moc ta jest w przybliżeniu proporcjonalna do wyrażenia D^6/λ^4, /patrz wzór 14-a/.

A zatem, czułość takiej stacji do wykrywania chmur /obłoków/ silnie rośnie wraz ze skracaniem długości fal - i odwrotnie.

Przeprowadzone na Zachodzie badania wykazały, że najbardziej korzystną długością fali dla tego typu stacji, są fale o długości ok.5,5 cm. Zastosowanie stacji pracujących na falach o λ = 5,5 i λ = 3 cm, w sposób wyraźny wykazuje różnicę w zobrazowaniu obszarów zachmurzonych, jakie w danym wypadku mogą znajdować się przed samolotem /rys.51/.



Rys.51. Zobrazowanie obszarów zachmurzonych na ekranach wskaźników stacji przeciwburzowych.

Z podanego rysunku /lewego/ widać, że przy $\lambda = 3$ cm widoczne są większe obszary obłoków, jednak trudno się zorientować, które z nich są bardziej niebezpieczne dla lotu samolotów. Natomiast przy $\lambda = 5{,}5$ cm /rysunek prawy/ można wyraźnie odróżnić "korytarze" pomiędzy bardziej niebezpiecznymi obszarami. Stąd wniosek, że przy $\lambda = 5{,}5$ cm stacja ma większy zasięg w gorszych warunkach meteorologicznych i sygnały odbijają się od rzeczywiście niebezpiecznych obszarów zachmurzonych /burz/.

Powyższe porównania zakresów fal pozwalają uzasadnić fakt, że większość firm amerykańskich stosuje dla stacji przeciwburzowych falę o $\lambda = 5{,}5$ cm. Natomiast wg poglądów angielskich, uważa się, że korzystniejsze jest stosowanie fal o $\lambda = 3$ cm, gdzie przy tych samych wymiarach anten uzyskuje się większą rozróżnialność kątową i większy zasięg przy względnie dobrej pogodzie.

Należy jednak podkreślić, że przy ostatecznym wyborze długości fali dla stacji przeciwburzowych odgrywa ważną rolę rodzaj pogody, jaka jest najbardziej typowa dla danych obszarów przelotu samolotu.

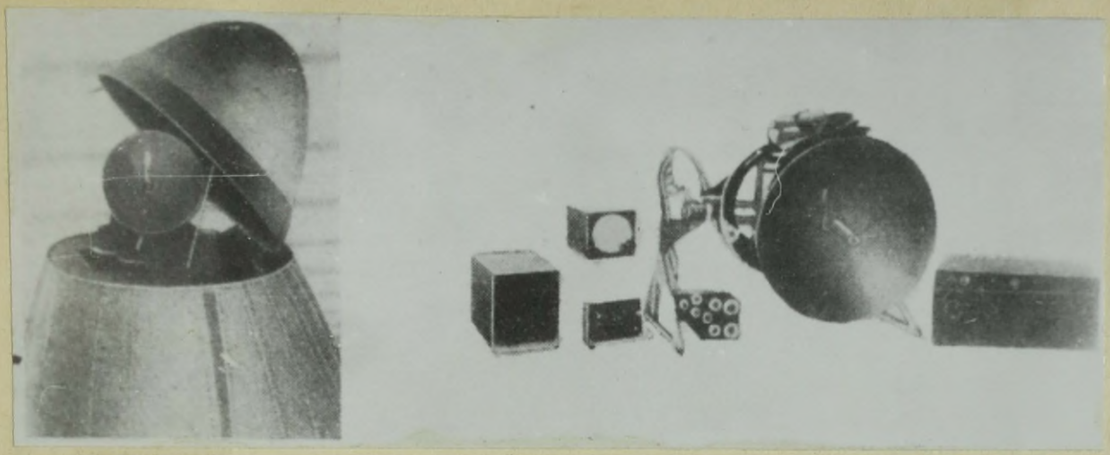
Omówimy dla przykładu parametry typowych stacji przeciwburzowych angielskich i amerykańskich.

5.7.1. Angielska stacja przeciwburzowa typu E-120 firmy ECCO, której widok przedstawia rys. 32, posiada następujące parametry:

- długość fali $\lambda = 3{,}2$ cm
- moc szczytowa impulsu $P_i = 60$ kW;
- czas trwania impulsu $\tau = 2\,\mu$ sek
- częstotliwość powtarzania $f_p = 400$ imp/sek.

Stacje angielskie posiadają układy stabilizujące, jednak zakres stabilizacji położenia anteny i zobrazowania np. w stacji E-120 jest największy i przy skrętach samolotu zawiera się w granicach $\pm 45^{\circ}$, zaś przy pochyleniu odnośnie osi poprzecznej samolotu zawiera się w granicach od $\pm 18^{\circ}$ do 22°.

Tego typu stacje /podobnie jak i inne/ posiadają układy "izo-echo" /wyjaśnienie tych układów niżej/.



Rys.52. Stacja przeciwburzowa produkcji angielskiej typu E-120.

5.7.2. Amerykańska stacja przeciwburzowa typu AVQ-10.

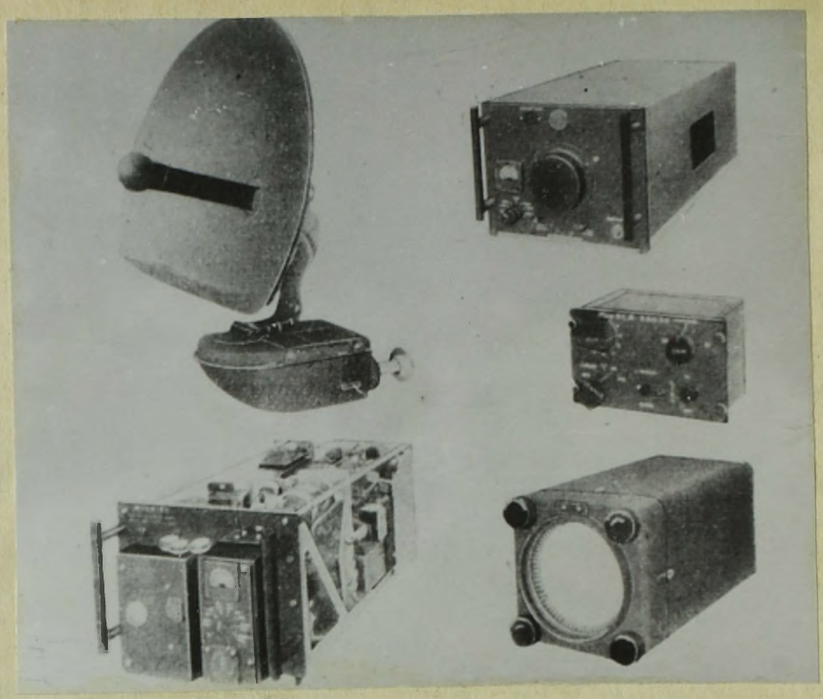
Stacje typu AVQ-10 /podobnie jak i inne stacje przeciwburzowe/ zainstalowane są w dziobie samolotu w specjalnej osłonie dielektrycznej. Stacja ta posiada wskaźnik panoramiczny o średnicy 12,7 cm ważący zaledwie 5,2 kg. Zakresy tego wskaźnika są następujące:

I zakres 0-37 km
II zakres 0-93 km
III zakres 0-280 km

Blok wskaźnika jest tak usytuowany na pokładzie samolotu, że gdy stacja nie pracuje, lotnicy mogą wskaźnik przesunąć pod siedzenie.

Amerykańska stacja przeciwburzowa typu AVQ-10, której widok przedstawiono na rys.53, posiada następujące parametry:

- długość fali $\lambda = 5{,}55$ cm
- moc szczytowa impulsu $P_i = 75$ kW
- czas trwania impulsu $\tau = 2 \mu$sek
- częstotliwość powtarzania $f_p = 400$ imp/sek.



Rys.53. Stacja przeciwburzowa produkcji amerykańskiej typu AVQ-10 /Antena i poszczególne bloki stacji/.

5.7.3. Stacja Bendix - RDR-1

Parametry: długość fali $\lambda = 3,2$ cm
moc szczytowa impulsu $P_i = 40$ kW
czas trwania impulsu $\tau = 2,0\ \mu$ sek.
częstotliwość powtarzania $f_p = 400$ imp/s

5.7.4. Stacja Collins WP-101

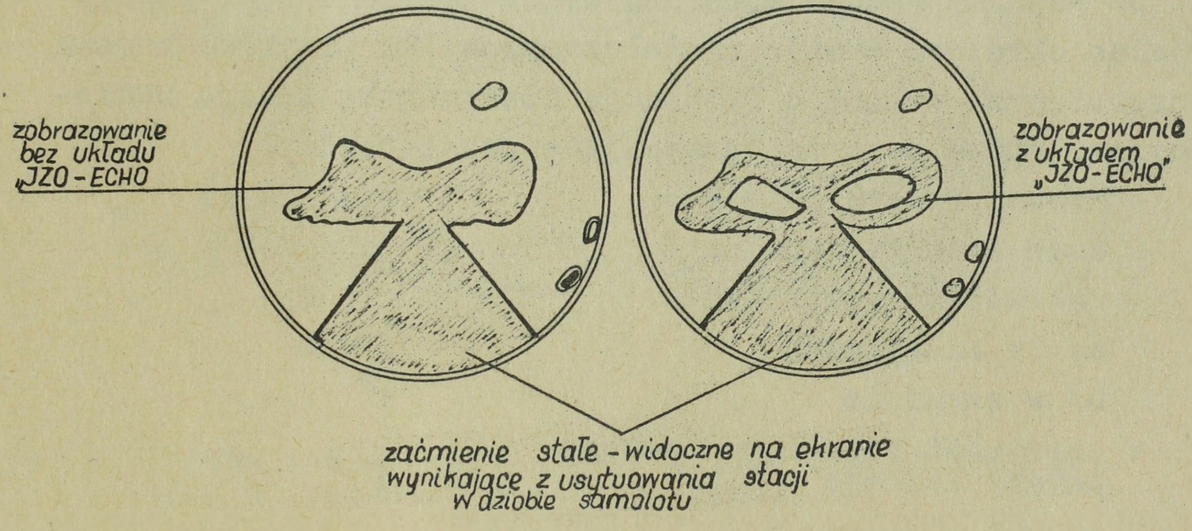
Parametry: długość fali $\lambda = 5,55$ cm
moc szczytowa impulsu $P_i = 75$ kW
czas trwania impulsu $\tau = 2,1\ \mu$ sek
częstotliwość powtarzania $f_p = 400$ imp/sek.

5.7.5. Układy "izo-echo"

Aby mieć możność wyróżniania na ekranie stacji przeciwburzowej obszarów o szczególnie groźnych warunkach meteorologicznych, jak np. centralne obszary burz, które należy ominąć, stosowane są tzw. układy "izo-echo". Układy te powodują zaciemnienie odbitych impulsów, gdy natężenie ich przekracza pewien poziom. W ten sposób obszary burz otaczane są jasną linią. Układ "izo-echo" realizuje się przez włączanie przez odpowiedni układ /gdy natężenie obieranych sygnałów przekracza pewien poziom/ dodatkowego napięcia

powodującego zablokowanie lampy oscyloskopowej wskaźnika radiolokacyjnego na odpowiedni odcinek czasu.

Na rys. 54 schematycznie podano zobrazowania zachmurzone na ekranach stacji przeciwburzowych, z tym jednak, że na rys. widok ekranu jest przedstawiony jako jasne tło a właściwie jest zawsze tłem ciemnym, natomiast zobrazowania podane są w kolorze ciemnym, podczas gdy na ekranach odbicia /zobrazowania/ są zawsze jasnymi plamami. /A zatem w naszym przypadku przedstawiono odwrotne odwzorowanie/.



Rys.54. Schematyczne zobrazowanie obszarów zachmurzonych na ekranach stacji przeciwburzowych.

Porównując powyższe rysunki można stwierdzić, że w przypadku zobrazowania obszarów zachmurzonych przy zastosowaniu układu, "izo-echo", widoczne jest, jakgdyby otoczenie tego obszaru jasną linią /na rysunku linia ciemna/. W ten sposób obsługa samolotu ma możność wybrania odpowiedniego "korytarza" ułatwiającego dalszy lot samolotu.

5.8. Urządzenia radiolokacyjne do badania prądów morskich.

Wypada słów kilka poświęcić urządzeniom radiolokacyjnym, które podobnie jak stacje do badania wiatrów, można wykorzystywać do badania prądów morskich.

Zastosowanie stacji radiolokacyjnych do badania prądów morskich, nie tylko uniezależnia dokonanie pomiarów od warunków widoczności, ale również umożliwia jednoczesną obserwację większej ilości tzw. pływaków niesionych przez różne prądy morskie. Jako pływaki stosowane są tzw. reflektory rogowe, które pozwalają uzyskać wyraźne odbicie na ekranach wskaźników stacji radiolokacyjnej.

Do badania prądów morskich wykorzystywane są z reguły specjalne okrętowe stacje radiolokacyjne. Na przykład muzeum oceanograficzne w Monaco dysponuje amerykańską stacją radiolokacyjną, która posiada następujące parametry:

- moc szczytowa impulsu $P_i = 30$ kW
- czas trwania impulsu $\tau = 0{,}5\ \mu$ sek
- dokładność pomiarów:
  - a/ w odległości 100 m
  - b/ w azymucie 1^o
- szerokość wiązki reflektora parabolicznego 3^o

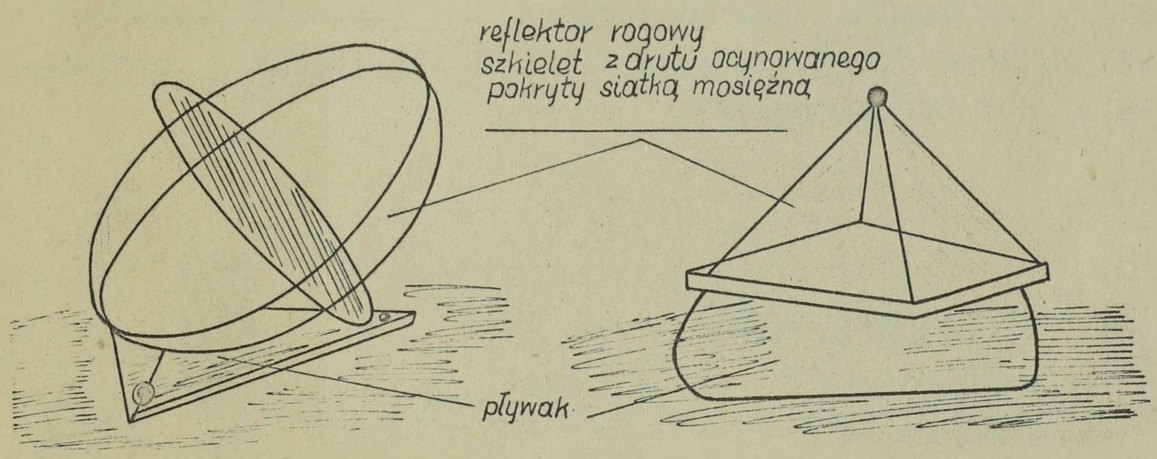
Stacja ta wyposażona jest w 2 wskaźniki panoramiczne oraz dodatkowo 1 wskaźnik z linią podstawową czasu /typu A/. Ponadto urządzenie posiada aparaturę fotograficzną umożliwiającą fotografowanie ekranów wskaźników w okresie jednego obrotu anteny, tj. co 3 sekundy.

Bardzo istotnym problemem było- poza adaptacją stacji - dobranie odpowiednich pływaków, któreby z jednej strony pozwalały uzyskać wyraźne odbicie na ekranach wskaźników, a z drugiej strony eliminowały wpływ wiatru na pływak, co mogłoby spowodować błędne pomiary.

Rozwiązując ten problem zastosowano cztery reflektory rogowe odpowiednio sprzężone, które zostały umocowane na pływaku zaopatrzonym w kil z płótna żaglowego. Reflektory rogowe były sporządzone z siatki mosiężnej, nawiniętej na szkielet z żelaznego drutu ocynkowanego o średnicy 6 mm. Długość pochyłych boków wynosiła 50 cm, a wysokość kompletu reflektorów 35 cm.

Maksymalny zasięg uzyskany z takimi reflektorami wynosił 7,5-9 km. Wysokość kilów wynosiła 80 cm, przy czym stwierdzono, że przy zastosowaniu takich kilów pływak posuwał się razem z butelką nabraną wodą tak, ażeby z wody wystawała tylko główka butelki przy szybkościach do 10 m/sek.

Na rys.55 schematycznie przedstawiono konstrukcje pływaków do badania prądów morskich, które były obserwowane /namierzane/ przez stacje radiolokacyjne.



Rys.55. Typowe konstrukcje pływaków i reflektorów drogowych do badania prądów morskich.

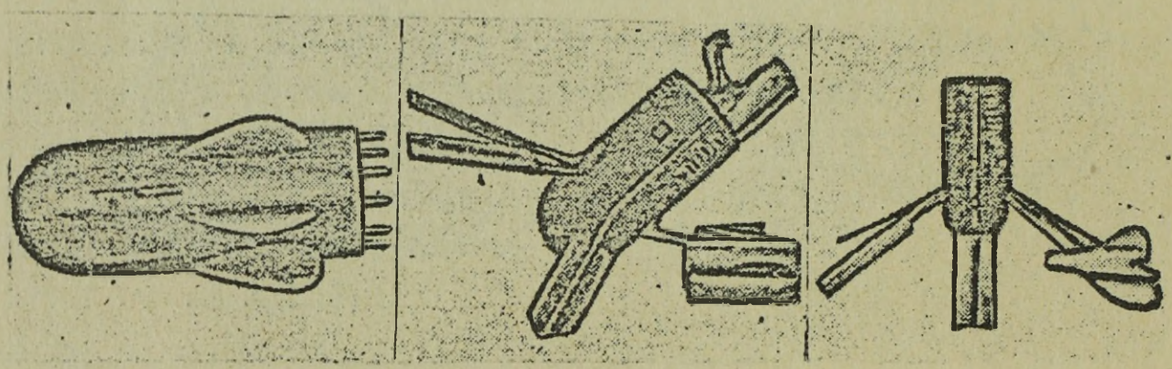
5.9. Stacje meteorologiczne specjalnych typów

Zebranie dokładnych informacji o warunkach meteorologicznych i stanie pogody również w znacznym stopniu zależy od powierzchni, z której zbiera się te dane. Dlatego też w celu pełniejszego opracowania map synoptycznych i wszelkich informacji w warunkach meteorologicznych stosuje się również specjalnych typów stacje meteorologiczne. Oprócz poprzednio omówionych stacjonarnych /naziemnych/ radiolokacyjnych stacji meteorologicznych, szerokie zastosowanie znajdują automatyczne stacje meteorologiczne, ustawione w trudno dostępnych miejscach /np. w rejonach polarnych, na oceanach itp/.

Dla przykładu można wymienić automatyczną stację meteorologiczną stosowaną głównie w rejonach Antarktydy. Stacja tego typu, przy pomocy spadochronu wyrzucana jest

z samolotu w trudno dostępnych rejonach. W momencie przyziemnego lądowania spadochron odczepia się a równocześnie przy pomocy specjalnego mechanizmu ustawiają się "nóżki" i stacja przyjmuje pozycję pionową /rys.30/.

W stacji tego typu według programowego czasu prowadzone są pomiary prędkości i kierunku wiatru, ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza i inne. Wyniki obserwacji i pomiarów są automatycznie zamieniane w odpowiadające im sygnały alfabetu Morse´a i przekazywane z szybkością 17 słów na minutę drogą radiową. Stacja wyposażona jest w źródło zasilania, zabezpieczające jej pracę na około 60 dni. Na rys. 56 przedstawiono poglądowo wygląd i rozwinięcie stacji "Konik polny".



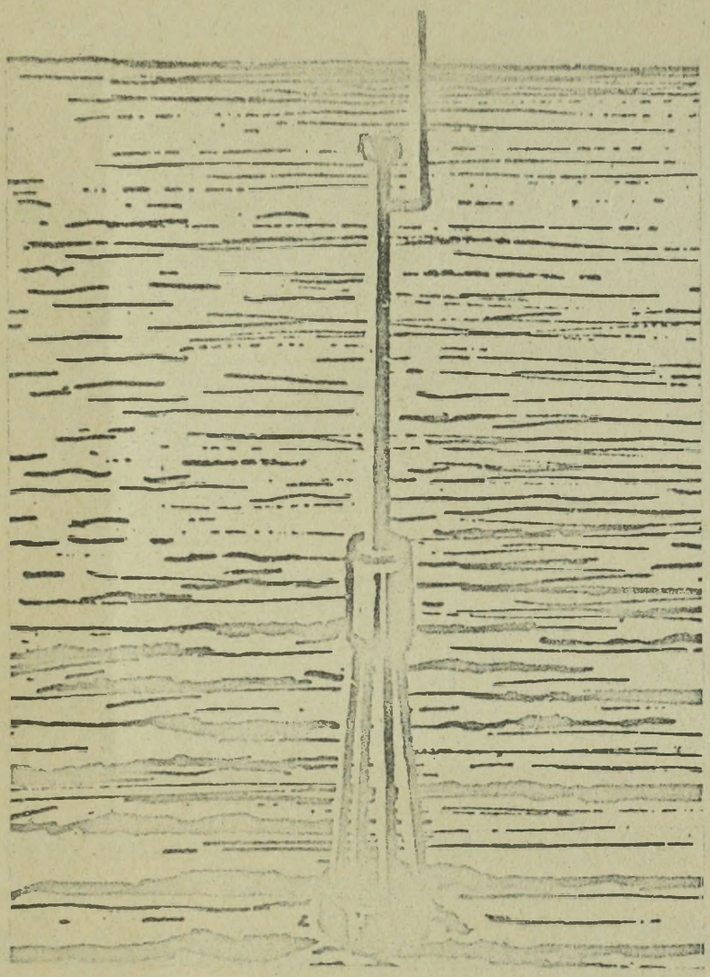
Rys.56. Automatyczna stacja zamontowana w boi morskiej.

Międzynarodowa służba meteorologiczna szeroko wykorzystuje automatyczne stacje systemu B.M ϕ, które ustawiane są na specjalnych bojach. Stacje te współpracują z urządzeniami naziemnymi stacji radiolokacyjnych lub z punktami meteorologicznymi.

Stacje B.M ϕ przeznaczone są do rejestrowania prędkości i kierunku wiatru, temperatury wody i powietrza, opadów atmosferycznych itp.

Nadawanie informacji meteorologicznych odbywa się co kilka godzin do punktów meteorologicznych odległych o kilkaset kilometrów. Urządzenia takiej stacji ważą ok. 140 kg, wysokość boi 7,5 m z czego wysokość wystającej ponad wodę części, w której znajduje się aparatura pomiarowa wynosi ok. 4,2 m.

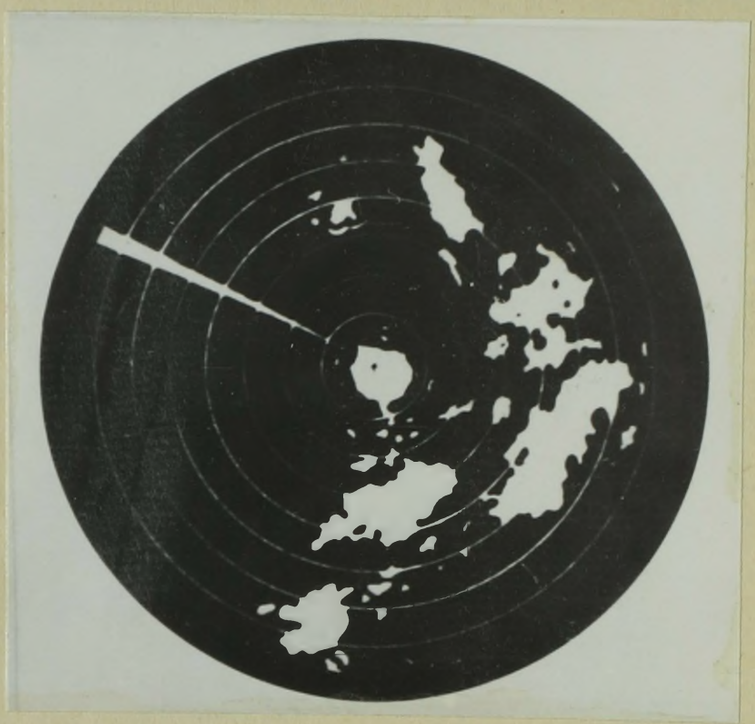
Na rys. 57 poglądowo przedstawiono automatyczną stację meteorologiczną systemu B.M. ϕ zwaną często meteosondą transoceaniczną.



Rys.57. Automatyczna stacja meteorologiczna "Konik polny"

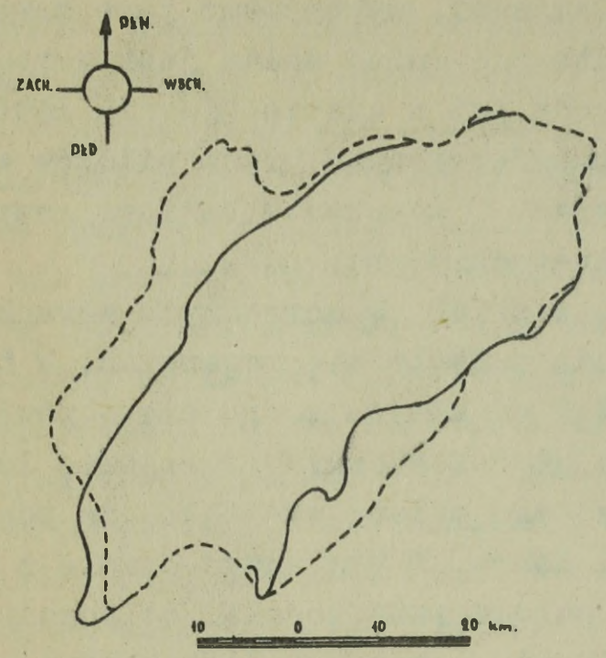
O szerokim zastosowaniu urządzeń radiolokacyjnych w meteorologii świadczyć może również fakt, że urządzenia te mogą być wykorzystywane do obserwacji pływających lodów, wykrywania pęknięć pokrywy lodowej itp. Przy użyciu stacji radiolokacyjnych promień wykrywania gór lodowych może wynosić średnio 5-6 km, natomiast na spokojnych powierzchniach wodnych, odległość wykrycia większych gór lodowych o wysokości 20-50 m może wynosić do ok. 35 km.

Przy użyciu stacji radiolokacyjnych możliwe są do wykrycia przerwy między lodami o szerokości do ok.400 m, na odległość 5-6 km. Szczególnie przydatne okazały się urządzenia radiolokacyjne przy obserwacji pól lodowych i porównywaniu ich z uprzednio sporządzonymi mapami geograficznymi.



Rys.58. Zobrazowanie radiolokacyjne chmur na ekranie wskaźnika obserwacji okrężnej.

Dla przykładu można podać, że w czasie jednej ekspedycji kanadyjskiej w rejonie zatoki Hudsona stwierdzono, iż zarysy linii brzegowej wyspy Koyte na mapie wykonanej w ciągu jednego roku, nie odpowiadały faktycznym zobrazowaniom tego samego terenu na ekranie wskaźnika stacji radiolokacyjnej. Różnice pomiędzy pomiarami geodezyjnymi a zobrazowaniami radiolokacyjnymi schematycznie przedstawiono na rys.59.



Rys.59. Zarys linii brzegowej wyspy zaznaczonej na mapie /linia ciągła/ i zobrazowanie tej samej wyspy na ekranie wskaźnika stacji radiolokacyjnej /linia przerywana/.

Podane powyżej przykłady wykorzystania stacji radiolokacyjnych do celów bezpośrednio związanych z meteorologią, jak również pośrednio związanych z nią, stanowią zaledwie część tych możliwości jakie cechują nowoczesne radiolokacyjne stacje meteorologiczne, używane zarówno dla celów wojskowych, jak i dla celów naukowo-badawczych.

6. UWAGI O ROZPOZNANIU METEOROLOGICZNYM DLA POTRZEB LOTNICTWA

6.1. W S T E P

Znaczenie lotniczego rozpoznania pogody dla zapewnienia bezpieczeństwa lotów jest tak ogromne, że warto z tych względów omówić niektóre problemy z tym związane.

Lotnicze rozpoznanie pogody oraz ciągła i umiejętna obserwacja stanu warunków atmosferycznych przez personel lotniczy jest jednym z ważniejszych elementów meteorologicznego ubezpieczenia lotów, przyczyniającym się w znacznej mierze do bezpiecznego ich wykonywania.

Lotnicze rozpoznanie warunków meteorologicznych, zgodnie z obowiązującymi regulaminami, wykonywane jest zawsze przed rozpoczęciem lotów. Ponadto nie mniej ważne jest wykonywanie dodatkowego rozpoznania pogody już w czasie trwania lotów oraz dokładne określenie warunków atmosferycznych przez pilotów w czasie wykonywania zadań w powietrzu. O znaczeniu takiego rozpoznania pogody świadczyć może fragmentaryczny przykład.

"Loty rozpoczęto w dzień, w normalnych warunkach atmosferycznych, po czym pogoda zaczęła się pogarszać. W tej sytuacji kierownik lotów zarządał od znajdującego się w powietrzu pilota informacji o warunkach atmosferycznych w rejonie lotniska. Z relacji złożonej przez tego pilota wynikało, że pogoda jest według jego obserwacji dobra. W tym samym czasie z trasy wracał inny samolot, którego załoga zameldowała, że pogoda pogarsza się do tego stopnia, iż nie wskazane jest kontynuowanie lotów szczególnie przez młodych pilotów.

Wobec sprzecznych meldunków, kierownik lotów natychmiast zorganizował rozpoznanie pogody, które potwierdziło drugi meldunek. Wkrótce też pogoda rzeczywiście pogorszyła się i trzeba było przerwać loty".

Z powyższego przykładu wynika, że nie wszyscy piloci, znajdując się w powietrzu, potrafią prawidłowo określić zachodzące zmiany warunków atmosferycznych.

Kierownik lotów nie powinien rozpoczynać lotów dopóki nie zostanie przeprowadzona wnikliwa analiza stanu i przewidywanych zmian warunków atmosferycznych i dopóki nie zostanie ustalone, że stan pogody jest zgodny z prognozą i umożliwi pomyślne kontynuowanie lotów zgodnie z planem.

Niedocenianie warunków atmosferycznych i meteorologicznego ubezpieczenia lotów często uniemożliwia wykonanie zadań a także prowadzi do wypadków lotniczych. W warunkach działań bojowych niedocenianie roli i znaczenia meteorologicznego rozpoznania może doprowadzić do poważnych następstw.

W literaturze zagranicznej opisywane są wypadki świadczące o niedocenianiu wpływu warunków meteorologicznych na działanie i operację wojsk, jakie miały miejsce podczas drugiej wojny światowej.

6.2. Przykład.

Jako przykład można wymienić wydzieloną operację III Floty USA. Na Oceanie Spokojnym 18 grudnia 1944 roku, kiedy to grupa okrętów i eskadry samolotów nie otrzymała uprzedzenia o zbliżającym się silnym tajfunie, skierowana została w kierunku Filipin, celem wsparcia operacji oddziałów desantowych. Tajfun, który nadszedł był tak potężny, że spowodował rozrzucenie szyków bojowych okrętów, przy tym trzy stawiacze min o wyporności 1370-2050 t każdy, na skutek bardzo silnych przechyłów, spowodowanych zburzoną falą przez tajfun zatonęły wraz z załogą. Poważnym uszkodzeniom uległy dalsze trzy stawiacze min, dwa okręty eskortujące, a nawet lekki lotniskowiec o wyporności 11000 t. i średniej wielkości krążownik. Ponadto lżejszym uszkodzeniom uległo 19 okrętów eskortujących różnych typów, a lotnictwo straciło na skutek trwania tajfunu 146 samolotów. Straty w stanie osobowym sięgały ok. 790 ludzi zatopionych oraz 80 rannych.

Przytoczony przykład nie jest odosobniony, bowiem w okresie drugiej wojny światowej siły morskie, powietrzne i lądowe wielu państw, biorących udział w działaniach wojennych, niejednokrotnie miały dużo strat, awarii i ofiar w ludziach z powodu nie zawsze pełnej znajomości warunków meteorologicznych w prowadzonych operacjach.

6.3. Meteorologiczne ubezpieczenie lotów.

Sposoby meteorologicznego ubezpieczenia lotów stosowane u nas, znane są personelowi latającemu i w tym miejscu nie ma potrzeby o zagadnieniach tych wspominać. Można jednak wspomnieć ogólnie w jaki sposób ubezpieczano kilka lat temu loty w jednostkach lotnictwa radzieckiego.

W dzień wstępnego przygotowania do lotów, dyżurny synoptyk zapoznał dowódcę /kierownika lotów/ z prognozą pogody na nadchodzący lotny dzień lub lotną noc, przy czym szczególną uwagę zwracał na najważniejsze elementy, to jest na:

- układy baryczne i fronty atmosferyczne, pod wpływem których będzie się kształtować pogoda w rejonie lotów;
- właściwości mas powietrza i związane z nim zjawiska pogody, zwłaszcza niebezpieczne dla lotnictwa /burze, mgły, niskie chmury, opady, oblodzenie itp/.

Dowódca /kierownik lotów/ stawiając zadania na loty podawał również personelowi latającemu dane dotyczące pogody na planowany lotny dzień lub lotną noc oraz stawiał zadania załogom zaplanowanym i wyznaczonym rozkazem do wykonania rozpoznania pogody przed lotami i dodatkowo rozpoznania pogody w czasie trwania lotów.

Przewidywano, że zadanie rozpoznania pogody pod chmurami, w dolnych i środkowych warstwach troposfery może być powierzone załodze samolotu transportowego z synoptykiem na pokładzie, a w górnej troposferze - załodze samolotu szkolno-bojowego. Uwzględniono jednak, że na samolocie szkolno-bojowym nie można wykonać całkowicie rozpoznania pogody aż do praktycznego pułapu samolotu bojowego, tzn. na większych wysokościach stratosfery, a dane o warunkach atmosferycznych na tych wysokościach są szczególnie potrzebne, gdy piloci dopiero zaczynają latać na dużych wysokościach. Wtedy uwzględnia się wykonywanie rozpoznania pogody na samolocie bojowym, wyznaczając do tych celów dobrze wyszkolonych pilotów, przeważnie spośród kierowniczego personelu latającego.

Ponadto uwzględniano wykonanie radiolokacyjnego rozpoznania pogody z takim wyliczeniem czasu, aby dyżurna zmiana SD zdążyła wykryć za pomocą stacji radiolokacyjnej rejony, w których występują niebezpieczne zjawiska pogody.
Wykryte rejony "złej pogody" nanoszone są na mapę, którą następnie dyżurny nawigator SD wręcza załodze lecącej na rozpoznanie pogody.

W dzień lotny, kierownik lotów i załoga lecąca na rozpoznanie pogody zapoznali się na stacji meteorologicznej z pogodą na podstawie odpowiednich map synoptycznych oraz zaznajamiali się z meldunkiem dyżurnego meteorologa o pogodzie na najbliższe godziny i na dzień/noc/. Oceniano również stan pogody w rejonie lotnisk zapasowych. Następnie kierownik lotów zapoznał się szczegółowo z najważniejszymi danymi o rzeczywistym stanie pogody i dopiero wtedy podejmował decyzję. Jeśli warunki atmosferyczne umożliwiały wykonanie lotów to dowódca /kierownik lotów/ ostatecznie ustalał z pilotami lecącymi na rozpoznanie pogody trasę i profil lotu.

Ostateczną decyzję odnośnie rozpoznania pogody podejmuje dowódca po otrzymaniu danych pomiarowych o podstawie chmur nad lotniskiem i upenieniu się, że pogoda w rejonie własnego

jednego z zapasowych lotnisk nie zagraża bezpieczeństwu lotu załogi, lecącej na rozpoznanie pogody.

Lot na rozpoznanie wykonywano w tę stronę, skąd następuje adwekcja pogody, uwzględniając prędkość przemieszczania się powietrza. Głębokość i profil lotu wybierano z takim rozliczeniem, aby zapewniona była ciągła łączność radiowa załogi z kierownikiem lotów oraz możliwość nawiązania łączności z lotniskami zapasowymi.

Jak już wyżej wspomniano, przed rozpoczęciem i w czasie trwania lotów wykonuje się radiolokacyjne rozpoznanie pogody, a wynik tego rozpoznania nanosi na mapę, zaznaczając kierunek i prędkość przemieszczania się zjawisk pogody niebezpiecznych dla lotnictwa. Uzyskane tą drogą informacje o pogodzie mogą być uaktualnione w czasie wstępnego /przed lotami/ i dodatkowego /w czasie trwania lotów/ rozpoznania pogody. Obsługa SD po otrzymaniu informacji o niebezpiecznych zjawiskach pogody czuwa, aby do tego rejonu nie wlatywały żadne samoloty. Z kolei załogi samolotów znajdujące się w powietrzu informują kierownika lotów o pogarszaniu się pogody lub zauważeniu niebezpiecznych zjawisk pogodowych na trasie lub w rejonie lotów.

Tylko dokładna znajomość sytuacji meteorologicznej oraz celowe i metodyczne organizowanie rozpoznania pogody przed lotami i dodatkowego rozpoznania w czasie trwania lotów pozwala bezpiecznie i rytmicznie wykonywać loty, unikać wypadków oraz wyklucza możliwość niespodziewanego wpadnięcia w złe warunki atmosferyczne itp.

Duża odpowiedzialność za bezpieczeństwo lotów spoczywa na dyżurnym synoptyku, który powinien wnikliwie i wszechstronnie analizować następujące informacje i materiały meteorologiczne i być w ciągłej gotowości do udzielenia kierownikowi lotów wyczerpujących informacji o warunkach atmosferycznych w rejonie i na trasach lotów oraz w odpowiednim czasie przedstawić mu wnioski dotyczące zmian pogody.

7. UWAGI O ZNACZENIU LOTNICZEGO ZABEZPIECZENIA METEOROLOGICZNEGO W CZASIE WOJNY[x/]

7.1. W S T E P

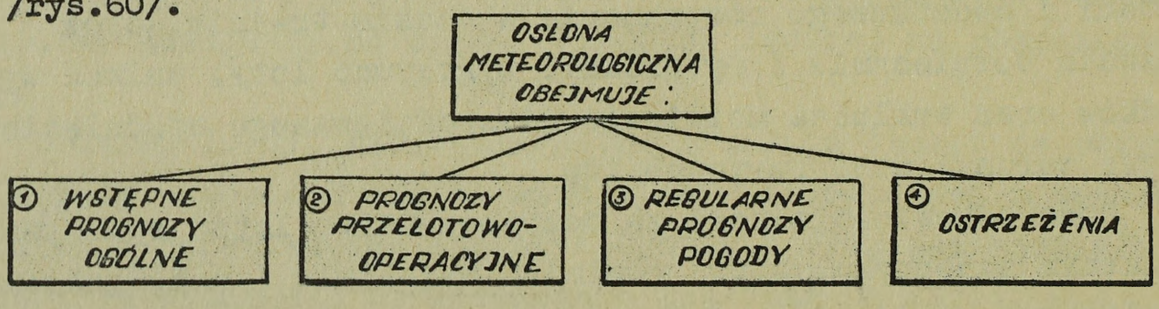
Omawiając niektóre zagadnienia lotniczego zabezpieczenia meteorologicznego w czasie wojny, chcemy zwrócić uwagę na te problemy.

Sytuację komplikuje jeszcze bardziej fakt, że lotnictwo wojskowe, w zależności od swego przeznaczenia i charakteru wykonywanych zadań, wymaga prognoz pogody o wysoce zróżnicowanym charakterze. Poza tym dochodzi jeszcze jeden czynnik nie występujący w okresie pokojowym, a mianowicie - częsta zmiana lotnisk polowych o różnych nawierzchniach i o różnych mikrometeorologicznych charakterystykach.

Reasumując, meteorologiczna służba lotnicza w okresie wojny musi być o wiele bardziej wydajna niż w czasie pokoju, co przy skomplikowanych warunkach opracowywania prognoz przelotowych i dla celów operacyjnych wymaga nie tylko gruntownej znajomości samej synoptyki ale w ogóle praw rządzących fizyką atmosfery i to zarówno na dużych jak i małych wysokościach.

7.2. Osłona meteorologiczna

Osłona meteorologiczna lotnictwa w warunkach bojowych będzie m.in. obejmowała ustalenie różnorodnych prognoz /rys.60/.



Rys.60. Klasyfikacja prognoz uwzględnianych przez osłonę meteorologiczną lotnictwa w warunkach bojowych.

---

x/ Opracowano na podstawie źródeł zachodnich, do których jak wiadomo wypada ustosunkować się z odpowiednią rezerwą, ponieważ dane publikowane przez prasę zachodnią sprzed kilku lat nie odzwierciedlają faktycznych osiągnięć w tej dziedzinie. Ponadto dane te mogą być celowo zaniżane lub wyolbrzymione, co oczywiści ma swój sens, tym bardziej, że materiały te są udostępnione nie tylko państwom obozu zachodniego.

8. UWAGI O METEOROLOGICZNYM PROGNOZOWANIU SKAŻEŃ.

8.1. W S T E P

Konieczność uwzględniania warunków meteorologicznych, zarówno w planowaniu i prowadzeniu działań wojennych, jak i w szkoleniu wojsk, była przesłanką stworzenia specjalnej wojskowej służby meteorologicznej, która w dużym stopniu korzysta również z radiolokacyjnych stacji meteorologicznych /RSM/. Rola tej służby wzrasta szczególnie w dobie współczesnej w związku z gwałtownym rozwojem techniki wojskowej.

Możliwość użycia broni jądrowej stwarza bowiem niebezpieczeństwo skażenia promieniotwórczego rozległych obszarów. W związku z tym zaszła konieczność uzyskania danych o wiatrach górnych do wysokości 25-30 km, to znaczy do wysokości wznoszenia się obłoków wybuchów jądrowych.

Służbie meteorologicznej przybyły zatem nowe zadania opracowywania danych o stanie atmosfery w przekroju pionowym do dużych wysokości; obliczenie wiatrów średnich w celu zapewnienia prognozowania przypuszczalnych rejonów, czasu i intensywności opadów promieniotwórczych po wybuchach jądrowych.

Duże perspektywy usprawnienia systemu obserwacji wiatrów górnych oraz parametrów wybuchów jądrowych dają nowoczesne urządzenia radiolokacyjne.

Dla przykładu omówimy dwa urządzenia radiolokacyjne przeznaczone do prognozowania skażeń i obserwacji wiatrów górnych.

8.2. Przykłady urządzeń radiolokacyjnych do obserwacji wiatrów górnych.

Urządzenie "WF-2" skonstruowane w NRF, przeznaczone jest do obserwacji wiatrów górnych do wysokości 30 km i odległości w linii prostej 200 km.

Jest to zmechanizowane i zautomatyzowane urządzenie typu stacjonarnego, obsługiwane przez jedną osobę /wg danych Podstawy Radiotechniki nr 41/42/63/.

Urządzenie "CR-353", konstrukcji angielskiej, przeznaczone jest do wykrywania burz, sztormów, grubości chmur i intensywności opadów oraz do rozpoznawania echa obiektów w promieniu 370 km.

Z kolei omówimy niektóre zagadnienia związane z powstawaniem skażeń przy wybuchu jądrowym aby naświetlić wymagania stawiane m.in. urządzeniom radiolokacyjnym, prowadzącym obserwację parametrów wybuchów jądrowych.

8.3. Wysokość wznoszenia się obłoku promieniotwórczego.

Wybuchowi jądrowemu towarzyszy wydzielenie ogromnej ilości energii. 90% energii wybuchu zostaje wyzwolone natychmiast w postaci promieniowania przenikliwego, promieniowania cieplnego i fali uderzeniowej. Pozostałe 10% energii wybuchu przypada na promieniowanie produktów rozszczepienia, które są unoszone do atmosfery przez tworzący się po wybuchu obłok promieniotwórczy.

Wysokość wznoszenia się obłoku promieniotwórczego zależy od warunków meteorologicznych /wilgotności i stanu równowagi atmosfery/ oraz wysokości tropopauzy. /Tropopauzą nazywamy graniczną warstwę atmosfery, położoną pomiędzy troposferą a stratosferą/. Wysokość wznoszenia się obłoku promieniotwórczego podczas powietrznych wybuchów jądrowych zależy od mocy ładunku jądrowego. W tabeli 1 podano wysokość wznoszenia się obłoku promieniotwórczego w zależności od mocy ładunku jądrowego /Opracowano na podstawie danych zawartych w "Military Review" lipiec 1959 r./.

Tabela 1

Wysokość w km	3	9	15	22	35
Równoważnik trotylowy	1 KT	10 KT	100 KT	1 MT	10 MT

8.4. Objętość obłoku promieniotwórczego.

Objętość obłoku promieniotwórczego wynosi w przybliżeniu 100 km^3 na 20 KT mocy równoważnika trotylowego lub 5000 km^3 na 1 MT równoważnika trotylowego.

Według danych W.Langhama i E.C. Andersowa /Langham W. Anderson, E.C. Fallout from Nuclear Weapons Tests Hearings 1959, VS. Govern. Print. Office, Washington 1959, str. 1068/, podczas wybuchów dużej mocy /o równoważnikach megatonowych/ produkty wybuchu rozmieszczają się następująco:

- przy wysokich wybuchach powietrznych 99% trafia do stratosfery, lokalnych skażeń nie obserwuje się;
- przy wybuchach naziemnych 20% przenika do stratosfery, 80% opada w rejonie wybuchu, tworząc opad lokalny;
- przy wybuchach nawodnych 30% przenika do stratosfery, 70% tworzy opad lokalny.

8.5. Dane wyjściowe do prognozowania skażeń.

8.5.1. Definicja prognozowania skażeń.

Prognozowanie skażeń promieniotwórczych nazywamy proces opracowywania danych o przewidywanym kierunku i zasięgu rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych oraz natężeniu promieniowania na drodze przesuwania się obłoku promieniotwórczego po wybuchu jądrowym.

8.5.2. Cel prognozowania.

Celem prognozowania jest przygotowanie dla dowódców, sztabów czy organów władzy danych o prawdopodobnym kierunku zasięgu i intensywności skażeń oraz czasie występowania skażeń, niezbędnych do podjęcia wstępnej decyzji o najbardziej celowych działaniach wojsk, sił ratowniczych oraz w zakresie ostrzeżenia /alarmowania/ ludności cywilnej o skażeniach, jak również postawienia najbardziej celowych zadań do rozpoznania skażeń.

8.5.3. Wymagane dane do prognozowania skażeń są:

- dane o parametrach wybuchu jądrowego /współrzędne, czas, moc i rodzaj wybuchu/;
- czas, na który należy określić przewidywaną stację skażeń promieniotwórczych;
- dane meteorologiczne /kierunek i prędkość wiatru średniego/.

8.6. Otrzymywanie danych o parametrach wybuchów jądrowych.

Dane o parametrach wybuchów jądrowych otrzymuje się z posterunków obserwacyjnych, dane meteorologiczne od służby meteorologicznej.

Prognozowanie sytuacji skażeń polega na ścisłym przewidywaniu kierunku ruchu obłoku promieniotwórczego, powstałego po wybuchu jądrowym z uwzględnieniem ruchu mas powietrza na różnych wysokościach, aktualnych dla momentu opadania pyłów

promieniotwórczych na powierzchnię ziemi. Wymaga to danych meteorologicznych ze znanego obszaru i do dużych wysokości w celu określania cyrkulacji atmosferycznej.

8.7. Radiolokacyjno-meteorologiczne zabezpieczenie prognozowania skażeń promieniotwórczych w przyszłości.

Prognozy warunków meteorologicznych do celów prognozowania skażeń będą tylko wtedy aktualne, gdy będzie istniała możliwość zebrania odpowiednich danych w bardzo krótkim czasie i z dużych obszarów. Szczególną rolę odgrywać mogą również stacje radiolokacyjne i sztuczne satelity Ziemi. Oddzielne zagadnienie stanowi automatyzacja systemu obserwacji meteorologicznej, opracowania prognoz pogody i systemu prognozowania skażeń. W systemie takim będą brały udział również urządzenia radiolokacyjne, które prowadząc namiary balonów lub rakiet sondażowych będą współuczestniczyły w zbieraniu i opracowywaniu danych o pogodzie, jak również będą wykrywały i oceniały parametry wybuchów jądrowych. Zebrane dane będą przekazywane do ośrodka analizy i prognozowania skażeń /zespół maszyn elektronicznych i urządzeń łączności/, a te z kolei do centrum opracowania decyzji.

9. UWAGI KONCOWE.

Radiometeorologia znalazła szerokie zastosowanie zarówno dla celów wojskowych, jak i cywilnych, o czym świadczą dotychczasowe jej wykorzystania, jak również niektóre przykłady omówione w niniejszym skrypcie.
Radiometeorologia bowiem, mówiąc najogólniej, dostarcza m.in. danych o takich parametrach atmosfery jak:
kierunek i szybkość wiatru, wilgotność i ciśnienie powietrza, temperatura itp.
Radiometeorologia jest dziedziną radioelektroniki, która obejmuje metody i sposoby badań zjawisk fizycznych, zachodzących w atmosferze, za pomocą urządzeń radiotechnicznych.

Urządzenia radiotechniczne umożliwiają dokonanie pomiarów atmosfery szybko i dokładnie, co szczególnie w warunkach bojowych jest sprawą bardzo istotną. Dane meteorologiczne są wykorzystywane przez wszystkie niemal rodzaje wojsk, a szczególnie są one niezbędne dla lotnictwa, artylerii,

marynarki wojennej i broni rakietowej.

Jak wykazuje praktyka, w astmosferze zachodzą istotne zmiany w ciągu dwóch-trzech godzin i w takich odstępach czasu należy dokonywać pomiarów, aby dostarczyć aktualne dane odpowiednim rodzajom wojsk. Tak więc radioelektronika, a więc głównie stacje radiolokacyjne, znacznie usprawniły działalność służby meteorologicznej.

Główną zaletą wykorzystywania radiolokacyjnych metod w pomiarach i obserwacjach meteorologicznych w porównaniu z klasycznymi /dawnymi/ metodami badań i obserwacji meteorologicznych jest przede wszystkim możliwość dokładnego prowadzenia licznych obserwacji i pomiarów w bardzo dużym promieniu na dużych obszarach i na różnych wysokościach w atmosferze. Zwykle bowiem, naziemne punkty meteorologiczne określają warunki meteorologiczne z reguły bezpośrednio w miejscu ich rozmieszczenia, rzadko zaś na większych przestrzeniach, tzn. w dużych odległościach od tych punktów. Dlatego też dla zestawienia prognozy pogody lub zebrania innych danych meteorologicznych z większego obszaru, potrzeba znacznej ilości pomiarowych punktów meteorologicznych.

O stopniu skuteczności radiolokacyjnych metod, w porównaniu z innymi metodami, świadczy fakt, że w rezultacie 953 - godzinnej obserwacji chmur nad wydzielonym obszarem uzyskano następujące wyniki wykrycia chmur różnych typów:

- metodą dawną przez obserwatora meteorologa 14,5%
- metodą radiolokacyjną 31,9%

Jak wynika z prasy zachodniej, lotnictwo dysponujące radiolokacyjnymi stacjami meteorologicznymi może wykrywać zaburzenia atmosferyczne na znacznych przestrzeniach, nawet ponad 600 km od stanowisk stacji.

Reasumując, można z całą pewnością stwierdzić, że wszystkie informacje meteorologiczne, zebrane przy pomocy RSM, są szeroko wykorzystywane zarówno do potrzeb wojskowych, jak i przez ośrodki badań meteorologicznych w celu opracowania prognoz pogody.

Należy również podkreślić, że mimo dotychczasowych osiągnięć w zakresie zastosowania radiolokacyjnych metod w meteorologii, trwa nadal poszukiwanie coraz lepszych metod i środków, mających na celu podniesienie sprawności służby

meteorologicznej na najwyższy poziom. Do największych osiągnięć w tym kierunku należy zaliczyć wykorzystanie satelitów meteorologicznych i sond kosmicznych, takich jak: "Tiros", "Nimbus" i innych - ale jest to już temat do odrębnych rozważań.

WYKAZ LITERATURY

wykorzystanej przy opracowywaniu skryptu pt.:
"Radiolokacja i jej zastosowanie w meteorologii"

1. Arnold F: Physics and radio. London 1947 r.
2. Białocerkowski G.: Osnowy radiołokacji. Oborongiz 1954.
3. Praca zbiorowa: Z zagadnień techniki wojennej MON 1959 r.
4. Pleszkow N.: Tiechniki dolniej świazi: Moskwa 1959 r.
5. Praca zbiorowa: Radio Engineering. Mc Graw Hill Book Company. New York 1947 .
6. Charkiewicz AA: Oczerki obszczej teorii świazi: Moskwa 1959.
7. Trofimow KN: Radiołokacja: Moskwa 1959.
8. Izjumow M: Kurs radiotiechniki: Wojennoje Izdatielstwo Wojennogo Ministerstwa Sojuza SSR. Moskwa 1950.
9. Szczurek MR: Urządzenia radiolokacyjne i ich eksploatacja WKiŁ 1958 r.
10. Słuczewski B.F: Radiołokacja i jego primiennieneje Wojenizdat. 1962.
11. Oprac.zbiorowe. Dictionary of Guided Missiles and Space Flight Radio Engineering Mc Graw Hill. Book Company New York 1952.
12. Pisarewski L: Osnowy radiołokacji Moskwa 1953.
13. Sceby S: Electron Tube Cirenits Socond Edition New York 1959.
14. Blattner D.J: Electronic Countermeasures The Art af Jamning. Electronic World London 1959.
15. Bogomołow D.F.: Osnowy radiołokacji Wojenizdat 1962.
16. Mendygrał Z: Radar dziś i jutro MON 1964.
17. Puzewicz Z: Zasady radiolokacji Wyd. WAT 1962.
18. Rotkiewicz W: Technika odbioru radiowego PWN 1955.
19. Opracowanie zbiorcze: Zasady radiolokacji. Polska Akademia Nauk 1961.
20. Hamford RW: Radar testing for a War Em wiroment IRE. National Conwention Record 1959.
21. Smiht - Rose RL: Radiolocation. Principles and Origins Klireles World II/45, III/45.
22. Smiht RA: Radar navigation J.E Epast II/46.
23. Maruszewska M: Urządzenia radiokomunikacyjne odbiorcze. Wyd. Kom. i Łączn. 1963 r.

24. Lisicki W: Propagacja fal radiowych WKiŁ 1962.
25. Dołudanow M: Rasprostranienie radiowoln. Moskwa 1951.
26. Praca zbiorowa: Podstawy techniki radiolokacyjnej OPL 14/61. OPL 16/61.
27. Litwin R. Technika mikrofal WPW 1959.
28. Szarek J: Radioelektronika na usługach wojsk MON 1961.
29. Siforow W.J.: Radiowe urządzenia odbiorcze Wyd.Kom.1957.
30. Kromin GS: Osnowy radiołokacjonnoj tiechniki: Wojenizdat 1960.
31. Brežbarta A: Krótkie osnowy radiołokacji Moskwa 1952.
32. Taylor D: Pronciples Radar. Reference data Radio Engineers 1949.
33. Henney K: The radio engineering handbook Mc Graw Hill 1951.

Odbito 55 egz.
Egz.nr 1-55 bibl.jawna
Wyk.Kmdr por. NOWAK
Druk.K.L.
Nr.ks.3351/WW
CW-O-XV-3144
Kor.H.S.

