



Grey Scale #13



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

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. Generała Broni Karola Świerczewskiego

ODDZIAŁ WOJSK OPK I LOTNICTWA
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

JAWNE

Egz. Nr 1

ppłk mgr inż. Kazimierz PIĄTKOWSKI

**„ZASTOSOWANIE PODCZERWIENI
DLA CELÓW WOJSKOWYCH”**

Skrypt



BIBLIOTEKA NAUCZONA ABN W
Instytutem Techniki Wojskowej

Nr ewid.

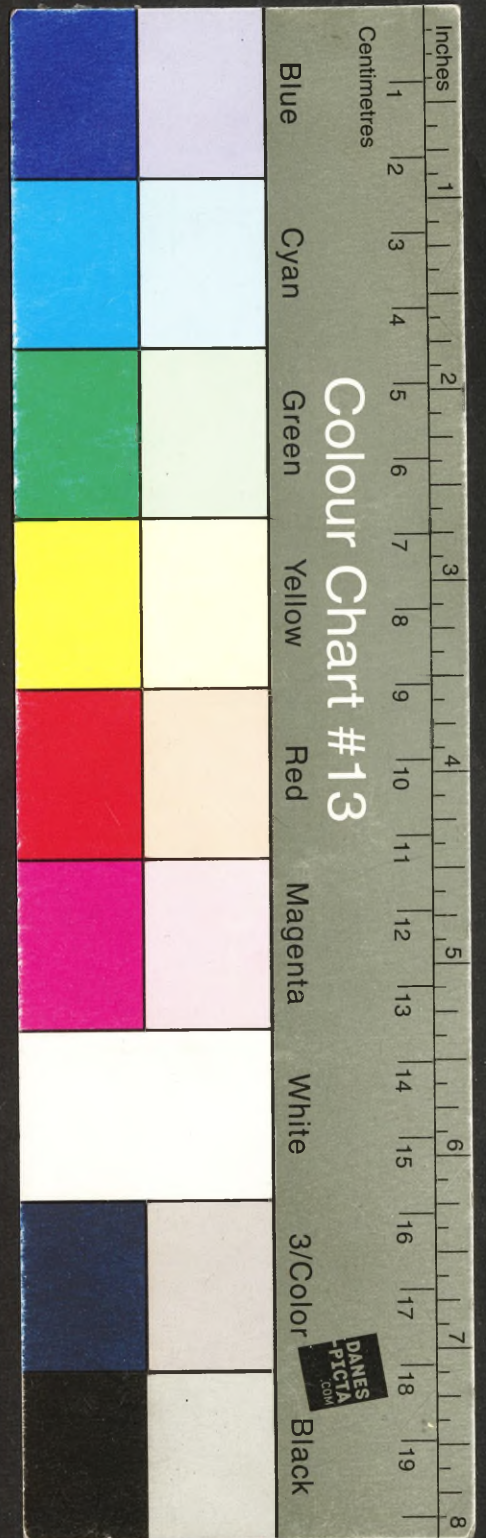


43059

WARSZAWA

LIPIEC

1973



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. Generała Broni Karola Świerczewskiego

ODDZIAŁ WOJSK OPK I LOTNICTWA
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

JAWNE



Egz. Nr 1

ppłk mgr inż. Kazimierz PIĄTKOWSKI

„ZASTOSOWANIE PODCZERWIENI
DLA CELÓW WOJSKOWYCH”

Skrypt



BIBLIOTEKA NAUCZONA AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
Katedra Przedmiotów Specjalnych

Nr ewid.



43059

WARSZAWA

LIPIEC

1973

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im.gen.broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ WOJSY OPK I LOTNICTWA
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

PRZEKLASYFIKOWANO DO UZYSKANIA
JAWNE

Protokół Nr 12657

FOUR

sgz. Nr. ... 1

PODSTAWA
Ustawa z dnia 22 stycznia 1969 roku
art. 86 ust. 2
(Dz. U. RP Nr 11 poz. 95)
Podpis

ppłk mgr inż. Kazimierz PIĄTKOWSKI

"ZASTOSOWANIE PODCZERWIENI DLA CELÓW WOJSKOWYCH"

S k r y p t



BIBLIOTEKA NAUCZONA ABS WP
Instytut Wojsk Lotniczych i Obrony Przeciwlotniczej

Nr ewid

X 43059

WARSZAWA

LIPIEC

1973 r.

JAWANE
FOR KODIA 1887



SPIS TREŚCI

=====

	Strona
W S T Ę P	5
1. OGÓLNE PODSTAWY FIZYCZNE PROMIENIOWANIA POD- CZERWONEGO	6
1.1. Istota promieniowania podczerwonego.	6
1.2. Widmo częstotliwości promieniowania	6
1.3. Charakterystyka promieniowania podczerwonego	8
1.4. Przenikalność promieniowania podczerwonego przez atmosferę	9
2. ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO	12
2.1. Podział źródeł promieniowania podczerwonego	12 ¹
2.2. Sztuczne źródła promieniowania podczerwonego	13
2.3. Naturalne źródła promieniowania podczerwonego.	15
2.4. Właściwości demaskujące samoloty ze względu na pro- mieniowanie podczerwone	17
3. DETEKTORY PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO	20
3.1. Rodzaje detektorów i ich klasyfikacja	20
3.2. Przetworniki elektronowo-optyczne	21
4. URZĄDZENIA TECHNIKI PODCZERWIENI STOSOWANE W WOJSKU	23
4.1. Urządzenia noktowizyjne	23
4.2. Termomierniki	26
4.3. Układy samonaprowadzania na podczerwień	28
4.4. Telefon w zakresie podczerwieni	32
4.5. Infralokatory	34
4.6. Środki i urządzenia podczerwieni stosowane w lotnic- twie państw NATO	35
5. PRZECIWDZIAŁANIE URZĄDZENIOM PRZECIWNIKA PRACUJĄCYM W ZAKRESIE PODCZERWIENI	42
5.1. Sposoby przeciwdziałania urządzeniom pracującym w zakresie podczerwieni	42

5.2. Efektywność zakłóceń stosowanych przeciwko urządzeniom podczerwieni w systemach samonaprowadzania rakiet	45
5.3. Metoda obliczeń użycia środków do zakłócania urządzeń podczerwieni rakiet kierowanych	48
5.4. Maskowanie naziemnych obiektów przed rozpoznaniem w zakresie podczerwieni.	50
Bibliografia	54

Technika podczerwieni - dział współczesnej elektroniki zajmuje się zagadnieniami promieniowania, rozprzestrzeniania i rejestracji promieniowania w zakresie fal podczerwieni, a także ich praktycznym wykorzystaniem do celów naukowych w przemyśle oraz w wojsku.

Mimo iż urządzenia podczerwieni charakteryzują się prostą konstrukcją, małymi rozmiarami i wagą, dużą niezawodnością, a także skrytością działania oraz dużą zdolnością rozdzielczą, rozwój ich następował o wiele wolniej w porównaniu z urządzeniami radiolokacyjnymi. Związane to było z pokonaniem trudności wynikających z tłumienia promieniowania cieplnego w atmosferze i wpływu odbitej od tła radiacji słonecznej. Zastosowanie różnych typów urządzeń odbiorczych i metod filtracji rozszerzyły możliwości stosowania urządzeń podczerwieni szczególnie na dużych wysokościach i w przestrzeni kosmicznej.

W pierwszych trzech rozdziałach skryptu omówione zostały zagadnienia fizyki i techniki promieniowania, rozprzestrzeniania i rejestracji promieniowania podczerwonego, a także oddzielne elementy urządzeń i systemów opartych na wykorzystaniu promieniowania podczerwonego.

W rozdziale czwartym omówiony jest rozwój wybranych współczesnych urządzeń i systemów techniki podczerwieni, które znalazły szerokie zastosowanie w wojsku. W rozdziale tym szczególną uwagę zwrócono na urządzenia podczerwieni stosowane w lotnictwie. Ostatni rozdział skryptu poświęcony jest zagadnieniom dotyczącym metod i sposobów przeciwdziałania urządzeniom podczerwieni nieprzyjaciela we współczesnych działaniach wojennych.

Rozmiary skryptu nie pozwoliły na szersze rozpatrzenie zasad działania poszczególnych układów urządzeń techniki podczerwieni, jak luminescencja, optyka elektronowa i szereg innych zagadnień. Problematykę tę można zgłębić korzystając z szeroko dostępnej literatury dotyczącej optyki i fizyki.

Skrypt opracowany jest z przeznaczeniem dla słuchaczy zasadniczych i zaocznych kursów wojsk lotniczych i OPK ASG. Może być również pomocny dla wykładowców, którzy zajmują się problematyką przeciwdziałania radioelektronicznego.

1. OGÓLNE PODSTAWY FIZYCZNE PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

=====

1.1. Istota promieniowania podczerwonego

Promieniowanie podczerwone jest częścią składową promieniowania optycznego, które obejmuje promieniowanie nadfioletowe, widzialne i podczerwone.

Promieniowanie podczerwone jest promieniowaniem elektromagnetycznym powstającym w wyniku oscylacyjnych drgań atomów i cząsteczek każdego ciała, którego temperatura jest wyższa od bezwzględnego zera $/0^{\circ}\text{K}$ czyli -273°C .

Wytworzone przez źródło promieniowanie podczerwone rozchodzi się w próżni i w innych ośrodkach fizycznych takich, jak: powietrze, gazy, ciecze czy ciała stałe po linii prostej.

W odróżnieniu od "fal cieplnych" promieniowanie podczerwone nie rozchodzi się drogą konwekcji termicznej lub przewodzenia w ośrodku fizycznym. Dla określenia promieniowania podczerwonego często stosowane jest w języku potocznym niesłuszne pojęcie "fal cieplnych". Pochodzi ono stąd, że promieniowanie podczerwone wytwarza ciepło w ośrodkach, przez które przechodzi i które je pochłania. Ciepło to jest jednak wynikiem powstających drgań i rotacji atomów ośrodka pochłaniającego. Jest to ten sam mechanizm wytwarzania ciepła jak przy absorpcji każdego innego promieniowania elektromagnetycznego. Na przykład przedmioty znajdujące się w pobliżu anteny stacji radiolokacyjnej podgrzewane są w sposób zupełnie analogiczny.

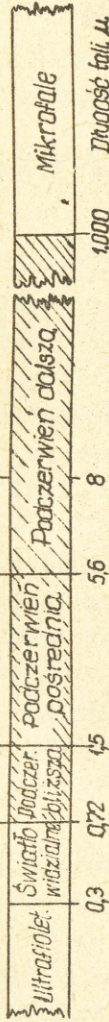
1.2. Widmo częstotliwości promieniowania

Powszechnie przyjmuje się, że pasmo podczerwone leży w przybliżeniu w zakresie długości fal od $0,72\ \mu\text{m}$ do $1000\ \mu\text{m}$ $/\mu\text{m}$ -mikron/. Wartości te odpowiadają długofalowej granicy światła i krótkofalowej granicy pasma mikrofalowego.

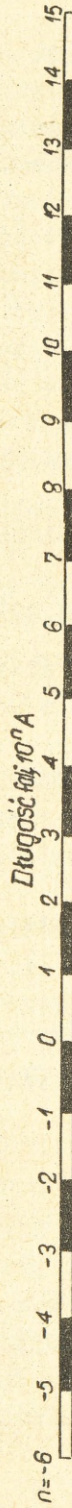
Położenie pasma podczerwonego w pełnym widmie promieniowania elektromagnetycznego przedstawia rys.1.

Temperatura maksymalnej energii promieniowania.

7000 3000 500 212^oF
3871 1649 280 0^oC



0,3 0,72 4,5 5,6 8 1,000
Długość fali, μ
 $1 \mu = 10^{-6} m$
 $1 \text{Å} = 10^{-10} m$
Częstotliwość w $\text{mm Hz} = \text{dl. fali w m}$ 300



Długość fali, 10^nÅ

ultrafiolet

gamma elektromowe

Praczenie X

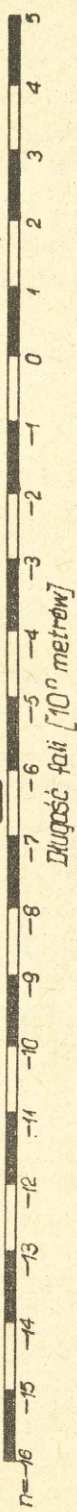
Podczerwień

Fale radiowe

W i d z i a l n e

Pr. kosmiczne
Promienie gamma

Mikrofała



Rys.1. Położenie promieniowania podczerwonego w widmie elektromagnetycznym.

Granice pomiędzy poszczególnymi zakresami widma elektromagnetycznego, odpowiadające różnym rodzajom promieniowania, nie są całkiem ściśle określone i częściowo zachodzą nawet wzajemnie na siebie. Na przykład promieniowanie podczerwone zachodzi z jednej strony na czerwoną część promieniowania widzialnego w widmie, a z drugiej strony na krótkofalową część zakresu fal radiowych /fal submilimetrowych zakresu mikrofalowego/.

W oparciu o własności detektorów podczerwonych oraz materiałów optycznych wprowadzono następujący umowny podział pasma podczerwonego na trzy następujące podzakresy:

Zakres podczerwieni bliskiej o długościach fal od $0,7\mu\text{m}$ do $1,5\mu\text{m}$. Zakres podczerwieni pośredniej o długościach fal od $1,5\mu\text{m}$ do $5,6\mu\text{m}$.

Zakres podczerwieni dalszej o długościach fal od $5,6\mu\text{m}$ do $1000\mu\text{m}$.

1.3. Charakterystyka promieniowania podczerwonego

Dowolny rodzaj promieniowania elektromagnetycznego, w tym także podczerwonego, rozchodzi się w postaci fali elektromagnetycznej, powstającej w wyniku okresowych zmian natężenia pola elektrycznego i magnetycznego. Rozchodzeniu się fali elektromagnetycznej towarzyszy przeniesienie energii w kierunku zgodnym z ruchem fali. Energia ta uzyskała nazwę energii promienistej.

Promieniowanie podczerwone, podobnie jak dowolne promieniowanie elektromagnetyczne, charakteryzuje się częstotliwością drgań f , długością fali λ prędkością rozchodzenia się energii C / $C = 300\ 000\ \text{km/s}$ /.

Pomiędzy tymi wielkościami zachodzi zależność

$$\lambda \cdot \nu = C$$

/1.1/

Dowolne promieniowanie, w tym i promieniowanie podczerwone, posiada dwojaką naturę falową i korpuskularną. Falowa elektromagnetyczna teoria wyjaśnia szereg zjawisk optycznych, jak: interferencję, dyfrakcję, polaryzację, odbicie i załamanie fal promieniowania optycznego. Zjawiska fotoelektryczne związane z promieniowaniem, pochłanianiem energii promienistej wyjaśnia

kwantowa teoria promieniowania podana przez Plancka i rozwinięta przez Einsteina.

Zgodnie z tą teorią promieniowanie rozpatruje się jako strumień cząsteczek zwanych fotonami o energii ϵ i masie mf

$$\epsilon = h \cdot \nu \quad /1/$$

$$mf = \frac{h \cdot \nu}{c^2} \quad /2/$$

gdzie ν - częstotliwość fali elektromagnetycznej

h - stała Plancka = $6,6238 \cdot 10^{-27}$ erg/s

c - prędkość światła 300 000 km/s.

Jak wynika falowe i kwantowe parametry promieniowania są związane zależnością, w myśl której energia jest wprost proporcjonalna do częstotliwości fali elektromagnetycznej. Analizując poszczególne przejawy promieniowania, traktuje się promieniowanie raz jako strumień cząsteczek materialnych o określonej energii, to znów jako strumień fal elektromagnetycznych.

1.4. Przenikalność promieniowania podczerwonego przez atmosferę

Przechodzenie promieniowania podczerwonego przez atmosferę ziemską zależy od koncentracji oraz rozkładu tworzących ją cząsteczek stałych i gazowych. Czynnikiem ten zależy z kolei od warunków meteorologicznych, szczególnie w niższych warstwach atmosfery.

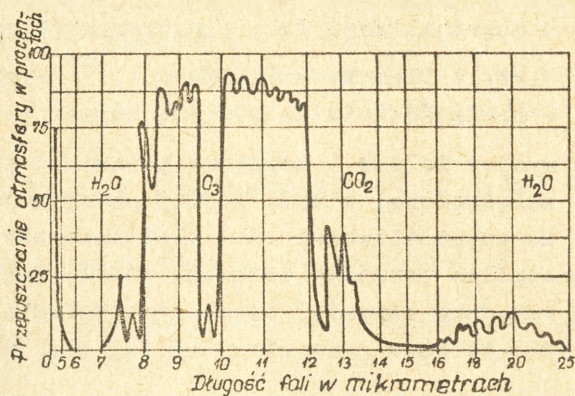
Promieniowanie podczerwone rozchodzące się w atmosferze ulega tłumieniu przez występujące równocześnie zjawisko pochłaniania i rozpraszania.

W wyniku pochłaniania powstają straty energii promieniowania podczerwonego, wywołujące wzrost temperatury ciała pochłaniającego tę energię. Wskutek rozpraszania natomiast, do odbiornika przychodzi tylko część energii promieniowania podczerwonego emitowanego przez źródło promieniowania.

Znajomość przenikliwości promieniowania podczerwonego przez atmosferę ziemską ma istotne znaczenie z punktu widzenia określenia zasięgu działania aparatury techniki podczerwieni.

Natomiast znajomość przenikalności tegoż promieniowania przez różne materiały stałe, głównie optyczne, jest pomocna przy doborze odpowiednich materiałów na filtry dla tej aparatury.

Energia promieniowania podczerwonego jest pochłaniana głównie przez molekuly pary wodnej H_2O i ozonu O_3 . Zależność przenikalności promieniowania podczerwonego przez atmosferę ziemską w funkcji długości fali tegoż promieniowania jest przedstawiona w postaci wykresu na rysunku 2. Wykres odnosi się do przypadku atmosfery wolnej od kurzu i pyłu. Jak widać



Rys.2. Przenikanie promieniowania podczerwonego przez atmosferę.

w atmosferze powstają t.zw. okna częstotliwościowe, w których pochłanianie promieniowania podczerwonego o pewnych długościach fal jest minimalne. Długości fal promieniowania podczerwonego, które są najmniej tłumione w atmosferze mogą być wykorzystane dla celów praktycznych.

Drugą przyczyną tłumienia energii promieniowania podczerwonego w atmosferze jest jej rozpraszanie, powodowane przez różne cząstki materialne unoszące się w powietrzu /kropelki wody, kurz, pył, dym/. Stopień rozpraszania promieniowania podczerwonego przez cząstki materialne zależy od średnicy tych cząsteczek i ich ilości w jednostce objętości. Średnica cząsteczek materialnych unoszących się w powietrzu może mieć wymiary od 0,2 do 60 μm , zaś ilość ich może wahać się od kilku do kilkunastu tysięcy w 1 cm^3 .

Przy przezroczystej atmosferze, a także przy lekkiej mgle i dymie, gdy średnia cząsteczek materialnych nie przekracza $1\mu\text{m}$, promieniowanie podczerwone o długości fali do $1,5\mu\text{m}$ lepiej przenika przez atmosferę ziemską niż światło widzialne. Użycie w tych warunkach przyrządów wykorzystujących promieniowanie podczerwone o tej właśnie długości fali może zapewnić zwiększenie zasięgu informacji.

Przy zmniejszonej "przezroczystości" atmosfery wskutek obecności w niej cząsteczek materialnych o średnicy $2\mu\text{m}$ /mgła, pył, kurz/ fale podczerwone o długości do $15\mu\text{m}$ ulegają oazkowitemu rozproszeniu. Atmosfera taka przenikalna jest dla promieniowania podczerwonego o długości fali od 4 do $12\mu\text{m}$. Jednakże w praktyce promieniowanie o tej długości fal nie jest wykorzystywane ze względu na trudności uzyskania odpowiedniej mocy promieniowania w tym zakresie fal.

Deszcz i chmury składają się, podobnie jak mgła, z kropeł wody mających dość duże wymiary. Średnica kropeł w chmurach i deszczu przekracza często $100\mu\text{m}$. Chmury głównie powodują rozpraszanie promieniowania podczerwonego, natomiast pochłanianie odgrywa tutaj mniejszą rolę. Większość spotykanych w atmosferze chmur występuje na wysokościach nie przekraczających 10 km. Wyjątek stanowią wysokie chmury cirrus, złożone z małych kryształków lodu posiadające jednak niewielkie współczynniki tłumienia. Rozważając deszcz i większość spotykanych typów chmur, należy stwierdzić, że promieniowanie podczerwone nie wykazuje w tym przypadku szczególnie korzystnych cech dotyczących obserwacji w porównaniu ze światłem widzialnym. Jest to spowodowane silnym tłumieniem tego promieniowania we wspomnianych ośrodkach.

W aparaturze techniki podczerwieni stosuje się różnorodne materiały przepuszczające lub pochłaniające określone długości fal promieniowania podczerwonego. Z materiałów tych najczęściej są wykonywane filtry, soczewki skupiające, pryzmaty. Dobierając ten lub inny materiał na filtr podczerwieni uwzględnia się konkretne zadania, jakie będzie miała do spełnienia dana aparatura techniki podczerwieni. Jeżeli dana aparatura ma wykrywać źródła długofalowego promieniowania podczerwonego na tle np.. promieniowania słonecznego, wówczas filtr powinien



być wykonany z materiałów tłumiących fale krótkie i przepuszczających fale długie promieniowania podczerwonego. Jeżeli natomiast aparatura jest przeznaczona do pracy w nocy, wtedy pożądane jest tłumienie długich fal promieniowania podczerwonego emitowanego przez otoczenie. Do tego celu można użyć filtrów z takich materiałów jak kwarc i niektóre rodzaje szkła optycznego.

2. ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

2.1. Podział źródeł promieniowania podczerwonego

Techniczne źródła promieniowania podczerwonego dzielą się ze względu na procesy fizyczne w nich zachodzące na zasadnicze grupy.

1. Temperaturowe źródła promieniowania, w których promieniowanie podczerwone jest emitowane wskutek nagrzewania różnych ciał. Do źródeł tego rodzaju zalicza się żarówki, lampy pręcikowe i inne.
2. Gazowyładowawe źródła promieniowania, w których promieniowanie podczerwone powstaje w wyniku wyładowania elektrycznego w gazach, powietrzu i parach metali. Zalicza się do tych źródeł lampę helową, cyrkonową lampę łukową, lampę impulsową.
3. Elektromagnetyczne źródła promieniowania wykorzystujące wzbudzenie drgań elektromagnetycznych wibratorów liniowych w celu wytworzenia promieniowania w zakresie dalekiej podczerwieni o długości fali 30-80 μm . Do źródeł tego rodzaju należy promiennik masowy.
4. Kwantowe źródła promieniowania, w których wykorzystuje się energie wzbudzenia cząstek materii /elektronów, jonów, atomów, molekuł/ w celu otrzymania promieniowania w różnych zakresach promieniowania elektromagnetycznego, w tym również promieniowania podczerwonego. Do źródeł tego rodzaju należą lasery, masery i irasery.

Oprócz wymienionych sztucznych źródeł promieniowania podczerwonego stosowanych w aparaturze podczerwieni, wykorzystuje się również naturalne źródła promieniowania podczerwonego. Źródłami takimi są obiekty przemysłowe, sprzęt bojowy, jak np. samoloty, rakiety, okręty i pojazdy mechaniczne, oraz ludzie. Są to oczywiście temperaturowe źródła promieniowania podczerwonego. Naturalne promieniowanie wykorzystywane jest w biernych urządzeniach techniki podczerwieni, jak w termomiernikach, systemach samonaprowadzania rakiet.

Sztuczne źródła promieniowania podczerwonego są wykorzystywane w czynnych urządzeniach techniki podczerwieni, jak np. noktowizory aparatura dla łączności.

2.2. Sztuczne źródła promieniowania podczerwonego

Do sztucznych źródeł promieniowania podczerwonego należy szereg urządzeń, z których ze względu na szerokie zastosowanie należy wymienić:

- żarówki i lampy pręcikowe;
- promienniki łukowe;
- promienniki kwantowe.

Żarówki wszelkich typów należą do najprostszycch źródeł promieniowania podczerwonego. Źródłem promieniowania w żarówkach jest włókno zwykle wolframowe, nagrzewane przez przepływający prąd do wysokiej temperatury /2400-2900°K/.

Żarówki emitują promieniowanie podczerwone w szerokim zakresie częstotliwości. Dlatego muszą one współpracować z filtrami przepuszczającymi określone pasmo promieniowania podczerwonego. Znalazły one zastosowanie w urządzeniach błyskowych dla łączności telegraficznej w czasie II wojny światowej. Szczególną wartość reprezentowały tego rodzaju urządzenia w odniesieniu do sygnalizacji i łączności w nocy, ponieważ przenoszące informację promieniowanie podczerwone było niewidoczne dla oka.

Pręcikowe lampy cyrkonowe lub karborundowe są bardziej doskonałymi promiennikami podczerwieni. Należą do selektywnych źródeł promieniowania podczerwonego. Elementem promieniującym w lampach tych jest pręcik wykonany z cyrkonu lub odpowiednio

karborundu. Nagrzany prądek cyrkonowy do temperatury 1400-1700°K emituje energię promieniowania podczerwonego w dwóch podzakresach widma: bliskiej podczerwieni 1,6-2,4 μm i średniej podczerwieni 5,5-6 μm .

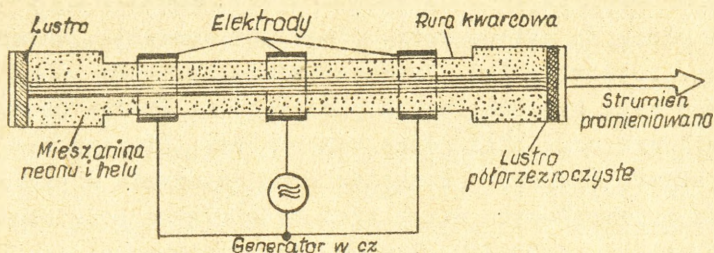
Do promienników łukowych emitujących promieniowanie podczerwone zalicza się: lampy łukowe, lampy cezowe i lampy cyrkonowe. Lampa łukowa emituje energię w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni. Łuk elektryczny powstaje w lampie łukowej między dwiema elektrodami grafitowymi podczas przepływu prądu. Źródłem promieniowania podczerwonego jest anoda nagrzana do temp. 4000°K pod wpływem uderzających w nią elektronów. Bardziej selektywnymi źródłami promieniowania podczerwonego są lampa cezowa i łukowa lampa cyrkonowa. Lampa cezowa wykonana jest w postaci rurki szklanej napełnionej argonem z domieszką wodoru i cezu.

Wyładowania powstające pomiędzy elektrodami lampy dają promieniowanie podczerwone w zakresie bliskiej podczerwieni. Cyrkonowa lampa łukowa składa się z katody tantalowej, w którą wprasowany jest tlenek cyrkonu, oraz anody wolframowej. W lampie powstaje wyładowanie łukowe, które jest źródłem promieniowania podczerwonego w zakresie średniej podczerwieni /4-25 μm /.

W ostatnich latach w technice podczerwieni zaczęto stosować nowe rodzaje promienników, których zasada działania opiera się na wykorzystaniu zjawiska wymuszonej emisji promieniowania.

Po raz pierwszy zjawisko wymuszonej emisji promieniowania zostało wykorzystane przez Maimana, twórcę lasera rubinowego, czyli generatora kwantowego i wzmacniacza promieniowania wi - dzialnego. Jeżeli generator tego typu promieniuje w zakresie podczerwonym, to nazywa się go iraser. Istotną cechą generatorów kwantowych jest zdolność wytwarzania promieniowania o spójnej /koherentnej/ wiązce i ściśle określonej fali.

Na rys.3 przedstawiono uproszczony schemat budowy generatora kwantowego, w którym substancją czynną jest mieszanina neonu i helu. Jest to schemat irasera gazowego, który generuje promieniowanie w zakresie bliskiej podczerwieni na fali 1,153 μm .



Rys. 3. Schemat generatora kwantowego gazowego.

W iraserze gazowym rezonator tworzą dwa równoległe lustra, z których jedno jest przezroczyste. Oba lustra umieszczone są w rurze kwarcowej wypełnionej mieszaniną neonu i helu. Moc promieniowania tego irasera wynosi zaledwie 0,15 W.

Omówione w rozdziale źródła promieniowania podczerwonego należą do źródeł celowo zbudowanych przez technikę do wykorzystania ich w tak zwanych czynnych urządzeniach techniki podczerwieni. Źródła promieniowania podczerwonego, które umożliwiają pracę biernych urządzeń techniki podczerwieni, nazywamy źródłami naturalnymi.

2.3. Naturalne źródła promieniowania podczerwonego

Do naturalnych źródeł promieniowania podczerwonego poza promieniowaniem słonecznym, kosmicznym i ziemskim zaliczamy promieniowanie ciepłe obiektów przemysłowych i wojskowych. Promieniowanie podczerwone emitowane przez zakłady przemysłowe i różnorodne obiekty techniki wojskowej jest z punktu widzenia wojskowego promieniowaniem demaskującym, które w warunkach działań bojowych ułatwia wykrycie i niszczenie tych obiektów. Dlatego też rozpatrzmy niektóre właściwości promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekty przemysłowe i wojskowe /czołgi, działa, rakiety, samoloty/.

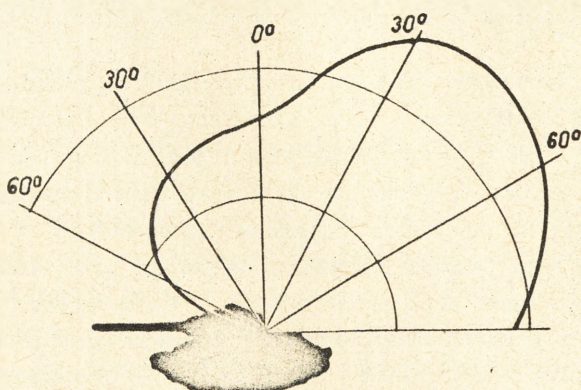
Funkcjonowanie ośrodków przemysłowych związane jest z pracą różnych urządzeń energetycznych wydzielających duże ilości ciepła. W szczególności w zakładach przemysłu metalurgicznego

są nimi piece do wytopu rudy, piece martenowskie, baterie koksoownicze, kotłownie itd. Rozmieszczenie obiektów ciepłych w zakładach może być dowolne, a poszczególne źródła promieniowania ciepłego mogą mieć różne temperatury. Dlatego też ocena mocy i składu widmowego rozkładu promieniowania w przestrzeni zakładów przemysłowych winna być rozpatrywana oddzielnie w każdym konkretnym przypadku. Gęstość promieniowania ciepłego całego ośrodka przemysłowego we wszystkich lub określonym kierunku może być określona drogą geometrycznego sumowania wektorów gęstości promieniowania oddzielnych źródeł promieniowania w danym kierunku.

Analogicznie można również ocenić promieniowanie ciepłe obiektów techniki wojskowej. Obliczenia w tym przypadku bardzo się upraszczają, ponieważ promieniujące energię ciepłą powierzchnie skoncentrowane są na małej przestrzeni.

Na okrętach podstawowymi źródłami promieniowania podczerwonego są kominy i nagrzaną strumień dymu. W czołgach źródłem promieniowania jest nagrzana tylna część pancierza, pod którą znajduje się silnik i rura wydechowa.

Charakterystyka promieniowania podczerwonego czołgu posiada maksimum skierowane w tylną półsferę pod kątem 45° rys.4.



Rys.4. Charakterystyka promieniowania podczerwonego czołgu dla zakresu fal 2,7 do 5,3 μm .

W działkach artyleryjskich źródłem promieniowania podczerwonego jest nagrzana podczas strzału lufa i płomień wylotowy. Mocnym źródłem promieniowania podczerwonego są rakiety, których prędkość lotu jest znacznie wyższa od prędkości dźwięku. W raketach podstawową przyczyną promieniowania podczerwonego jest nagrzanie się korpusu podczas lotu w gęstych warstwach atmosfery i wskutek nagrzewania promieniami słonecznymi przy jej locie w kosmosie. Oprócz tego w początkowym stadium, choć krótkotrwałym źródłem promieniowania podczerwonego, jest strumień rozgrzanych gazów wyrzucanych przez silnik. W wyniku pracy silnika korpus rakiety, a szczególnie jej część ogonowa może nagrzać się do wysokich temperatur, a temperatura w komorach spalania wynosić 2000-3000°C. Jednakże najintensywniejsze nagrzewanie korpusu rakiety następuje w wyniku lotu rakiety przez gęste warstwy atmosfery. Wiadomo jest na przykład, że korpus rakiety niemieckiej V-2 wskutek tarcia w powietrzu przy prędkości lotu 5600 km/h nagrzewał się do temperatury rzędu 950°C.

Szczególnego znaczenia nabiera promieniowanie podczerwone aparatów latających /w tym samolotów śmigłowców/, które są najbardziej charakterystycznymi obiektami wojskowymi, ponieważ w nich skoncentrowane są duże energetyczne moce w porównaniu z ich małą objętością.

2.4. Właściwości demaskujące samoloty ze względu na promieniowanie podczerwone

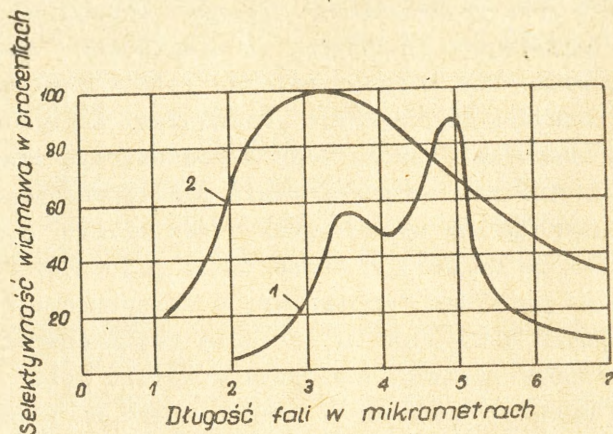
W samolotach z silnikiem tłokowym podstawowymi źródłami promieniowania podczerwonego są rury wydechowe, gazy wylotowe i osłony silników.

Osłony silników posiadają stosunkowo niską temperaturę około 100°C i mały współczynnik promieniowania /0,2-0,4/.

Gazy wylotowe silników tłokowych uzyskują temperaturę 1000-1100°C. Rury wydechowe rozmieszczone są nad płatem lub pod płatem samolotu, tym samym promieniowanie podczerwone rur wydechowych może być skierowane w dolną lub górną półsferę.

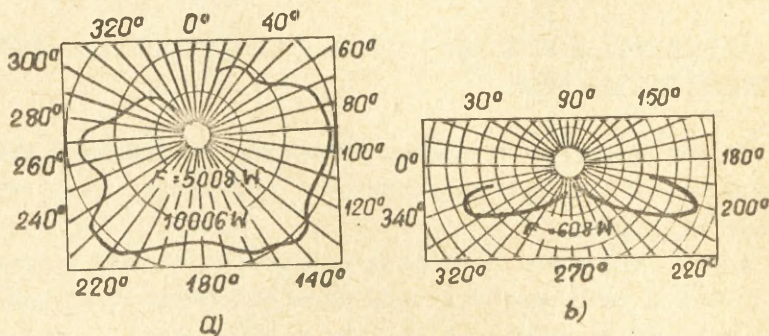
/rys.6/.

Maksymalna intensywność promieniowania podczerwonego w wyniku nagrzewania się części dla samolotu tłokowego przypada w zakresie fal o długości 3 do 5 μm /rys.5./.



Rys.5. Intensywność promieniowania podczerwonego.
1/ silnika tłokowego, 2/ silnika odrzutowego.

Na rys. 6 pokazane są charakterystyki promieniowania podczerwonego samolotu z dwoma silnikami tłokowymi. Ukształtowanie charakterystyk związane jest z rozmieszczeniem rur wydechowych i kierunkiem strug gazów wylotowych.



Rys.6. Charakterystyki promieniowania podczerwonego samolotu z dwoma silnikami tłokowymi a/ w płaszczyźnie poziomej, b/ w płaszczyźnie pionowej.

W samolotach odrzutowych o prędkościach dźwiękowych zasadniczymi źródłami promieniowania podczerwonego są poszczególne detale /łopatki, turbiny/ silnika, dysza, a także gazy wylotowe.

W porównaniu z silnikami tłokowymi ilość gazów wylotowych jest o wiele mniejsza, ponieważ następuje dokładniejsze spalanie paliwa.

Maksimum promieniowania podczerwonego nagrzaných gazów silnika odrzutowego przy temperaturze około 1500°C w dyszy, przypada na długości fal 2-4 μm rys.5. Charakterystyki promieniowania są wybitnie kierunkowe. Zasadnicza część promieniowania przypada na tylną półsferę.

Ze wzrostem prędkości samolotów, głównie samolotów naddźwiękowych, źródłem promieniowania podczerwonego staje się również kadłub, który nagrzewa się w wyniku tarcia o powietrze. Ze wzrostem prędkości lotu intensywność nagrzewania szybko wzrasta i staje się bardzo wyraźna przy prędkościach odpowiadających $M = 2$. Najsilniej nagrzewa się nos kadłuba, przednie krawędzie skrzydeł i opierzenie oraz części występujące.

We współczesnym samolocie naddźwiękowym, lecącym na wysokości 6100 m z prędkością około 4800 km/h, kadłub nagrzewa się do temperatury 680°C w ciągu zaledwie 1,5 min. Podczas lotu na wysokości 36600 m z tą samą prędkością kadłub nagrzewa się do tej samej temperatury dopiero po upływie 20 minut. Stopień rozrzedzenia powietrza ma jak widać istotny wpływ na nagrzewanie się kadłuba samolotu wskutek tarcia aerodynamicznego.

Nagrzewanie kadłubów samolotów i rakiet wskutek tarcia aerodynamicznego staje się źródłem intensywnego promieniowania podczerwonego. Promieniowanie to łącznie z promieniowaniem cieplnym silników, w komorach których temperatura spalania osiąga $2000-3000^{\circ}$, powoduje, że samolot lub rakietą stają się obiektami łatwymi do wykrycia za pomocą urządzeń techniki podczerwieni.

3. DETEKTORY PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

3.1. Rodzaje detektorów i ich klasyfikacja

Jednym z podstawowych elementów odbiorczej aparatury podczerwieni jest detektor promieniowania podczerwonego. Detektory te mają różne własności i zastosowania i mogą być klasyfikowane z różnych punktów widzenia. Jako podstawę klasyfikacji przyjmuje się często zasadę przemiany energii promienistej. W związku z tym detektory promieniowania podczerwonego można podzielić na ciepłe i fotoelektryczne.

Ciepłe detektory promieniowania podczerwonego wykorzystują zasady przemiany energii promienistej w energię cieplną. Detektory ciepłe należą do tak zwanych detektorów nieselektywnych, których czułość nie jest zależna od długości fali wykrywanego promieniowania podczerwonego. W tej grupie najszersze zastosowanie znajdują termoelementy, bolometry i termistory.

Fotoelektryczne detektory promieniowania podczerwonego wykorzystują zjawisko fotoelektryczne, dzięki któremu energia promienista zostaje przekształcona w energię elektryczną. W zależności jak przejawia się w nich zjawisko fotoelektryczne detektory promieniowania podczerwonego dzielimy na:

- detektory o zewnętrznym zjawisku fotoelektrycznym, w których pod wpływem promieniowania podczerwonego następuje emisja elektronów z metalu; do takich detektorów zaliczamy fotokomórki;

- detektory o wewnętrznym zjawisku fotoelektrycznym, w których pod wpływem promieniowania podczerwonego wzrasta przewodność; do takich detektorów zalicza się fotooporniki;

- detektory o zaworowym zjawisku fotoelektrycznym, w których pod wpływem promieniowania podczerwonego powstaje siła elektromagnetyczna; do takich detektorów zalicza się ogniwa fotoelektryczne.

Właściwości detektorów ciepłych i fotoelektrycznych charakteryzują następujące parametry:

- czułość całkowita, którą określa się przez stosunek wartości prądu fotoelektrycznego do całkowitej mocy promieniowania podczerwonego;

- czułość widmowa dotyczy pracy i promieniowania o określonej długości fali;

- czułość progowa oznacza najmniejszą wartość mocy promieniowania podczerwonego, jaka może być jeszcze wykryta przez dany detektor;

- stała czasowa, którą określa się czasem, w ciągu którego detektor nagle opromieniowany wskaże 0,63 maksymalnej wartości, jaka może być otrzymana podczas długotrwałego opromieniowania.

Do bardziej złożonych detektorów promieniowania podczerwonego należą przetworniki elektronowo-optyczne, których zasada pracy zostanie szerzej omówiona.

3.2. Przetworniki elektronowo-optyczne

Przetworniki elektronowo-optyczne należą do przyrządów fotoelektrycznych przeznaczonych do przetwarzania obrazu w niewidzialnych promieniach podczerwonych w obraz widzialny dla obserwatora.

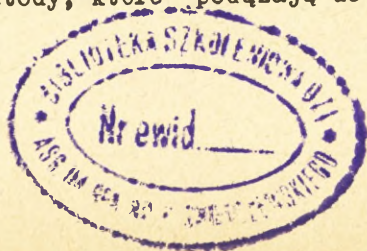
Istota działania takiego przetwornika polega na tym, że promieniowanie niewidzialne /podczerwone lub ultrafioletowe/ padając na fotokatodę powoduje emisję elektronów. Następnie strumień elektronów padając na anodę pokrytą substancją luminescencyjną zostaje przetworzony w obraz widzialny dla obserwatora.

Przetworniki elektronowo-optyczne umożliwiają obserwację w niewidzialnym promieniowaniu podczerwonym. Mogą one spełniać rolę wzmacniaczy jasności, a w związku z tym znalazły zastosowanie do obserwacji prowadzonej w nocy.

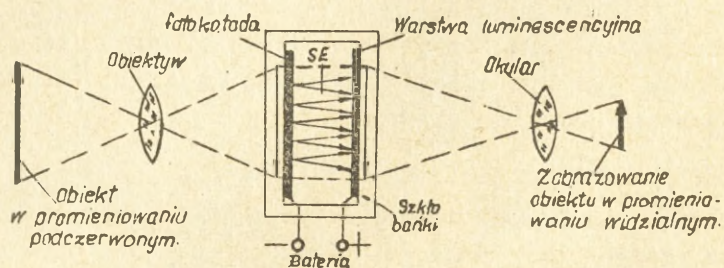
Przetworniki elektronowo-optyczne można ze względu na ich budowę podzielić na próżniowe i półprzewodnikowe.

Próżniowy przetwornik elektronowo-optyczny wykonany jest w postaci bańki szklanej, zwykle w kształcie cylindra /rys. 7/. Na wewnętrznej przedniej ścianie cylindra znajduje się fotokatoda wykonana z cienkiej warstwy tlenkowo-srebro-cezowej. Na przeciwległej ścianie cylindra znajduje się anoda, na której naniesiona jest cienka warstwa luminoforu.

Obraz w promieniach podczerwonych jest rzutowany na fotokatodę za pomocą soczewki. Dzięki emisji fotoelektrycznej następuje emisja elektronów z katody, które podążają do anody.



Gęstość emitowanych elektronów z poszczególnych obszarów fotokatody jest proporcjonalna do natężenia promieniowania podczerwonego. Elektrony przyspieszane przez pole elektryczne anody uderzają w warstwę luminoforu, wywołując jego świecenie.



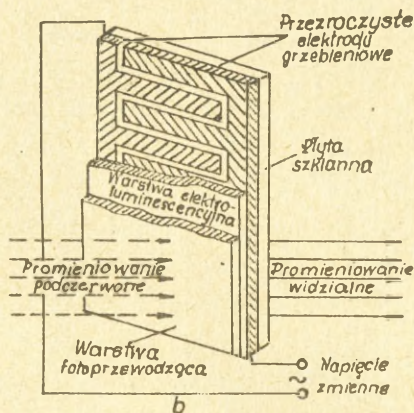
Rys.7. Schemat budowy przetwornika elektronowo-optycznego próżniowego.

Natężenie świecenia poszczególnych obszarów luminoforu jest z kolei proporcjonalne do gęstości elektronów padających w dany obszar anody. Dzięki pośrednictwu elektronów obraz w niewidzialnym promieniowaniu podczerwonym został zamieniony na obraz widzialny.

Dla otrzymania bardziej wyraźnych obrazów w przetwornikach elektronowo-optycznych często stosowane są układy ogniskujące, w których strumień elektronów jest skupiany za pomocą układów elektrostatycznych lub magnetycznych. Wszystkie próżniowe przetworniki elektronowo-optyczne mają czułość widmową z zakresu bliskiej podczerwieni.

Półprzewodnikowy przetwornik elektronowo-optyczny zbudowany jest w oparciu o wykorzystanie wewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego i zjawiska fotoluminescencji.

Zasadę budowy takiego przetwornika półprzewodnikowego wyjaśnia rys.8.



Rys. 6. Schemat budowy przetwornika elektronowo-optycznego półprzewodnikowego.

Przetwornik ten składa się z dwóch warstw półprzewodników: warstwy fotoprzewodzącej, na którą pada promieniowanie podczerwone, oraz warstwy elektroluminescencyjnej, na której powstaje obraz widzialny. Przez obie warstwy przepływa prąd fotoelektryczny.

W tych miejscach warstwy fotoprzewodzącej, na którą pada promieniowanie podczerwone, maleje oporność warstwy, wskutek czego przepływający prąd fotoelektryczny ma większe natężenie. Powoduje to intensywniejsze świecenie warstwy elektroluminescencyjnej.

Półprzewodnikowe przetworniki elektronowo-optyczne mają wartość widmową w zakresie średniej podczerwieni. Zaletą przetworników półprzewodnikowych jest prostota i zwarta budowa, większa trwałość oraz zbędność wysokich napięć zasilających.

4. URZĄDZENIA TECHNIKI PODCZERWIENI STOSOWANE W WOJSKU

4.1. Urządzenia noktowizyjne

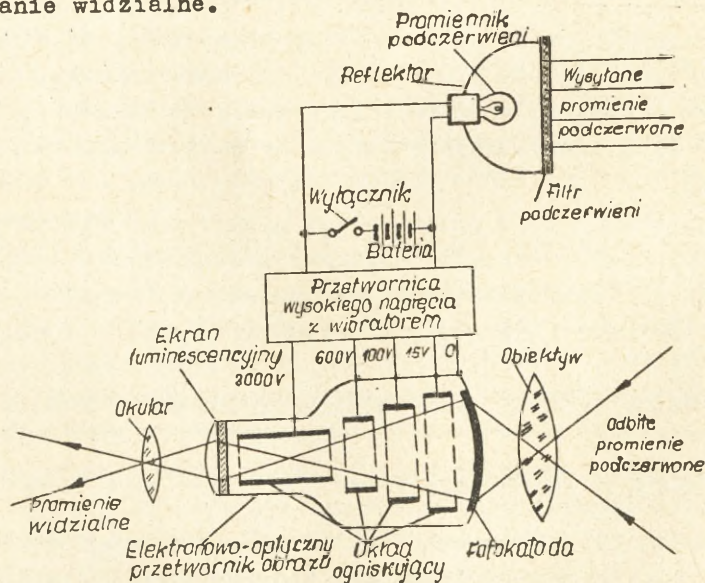
Wykrywanie i obserwowanie różnych obiektów w warunkach nocnych może mieć miejsce dzięki ich własnemu lub odbitemu od nich promieniowania podczerwonego. W zależności od tego urządzenia podczerwieni przeznaczone do wykrywania i obserwacji obiektów można podzielić na czynne i bierne. Do czynnych

urządzeń podczerwieni zaliczamy noktowizor, zaś do biernych zaliczamy lunety fosforowo-graficzne i metaskopy.

Noktowizor jest urządzeniem czynnym, ponieważ posiada własne źródło promieniowania podczerwonego. Dowolny noktowizor składa się z następujących zasadniczych podzespołów:

- 1/ reflektora promieniowania podczerwonego, który zawiera promiennik podczerwieni /żarówkę/ i filtr przepuszczający określone widmo promieniowania podczerwonego;
- 2/ przetwornika obrazu, którego rolę spełnia elektronowo-optyczny przetwornik próżniowy lub półprzewodnikowy;
- 3/ zasilacza, który zasila energią elektryczną promiennik podczerwieni w reflektorze oraz przetwornik obrazu.

Zasadę działania noktowizora wyjaśnia rysunek 9. Reflektor podczerwieni skierowuje promienie podczerwone na obiekt, od którego odbija się część promieni i wpada do obiektywu przetwornika obrazu. W przetworniku następuje zamiana niewidzialnego zobrazowania w promieniach podczerwonych na zobrazowanie widzialne.



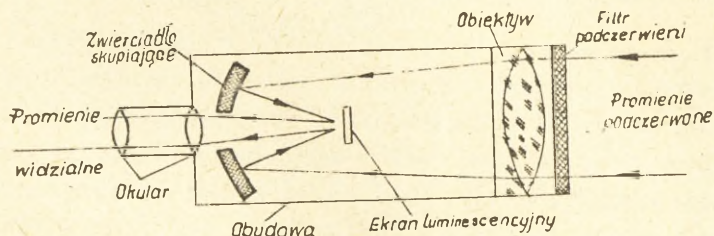
Rys.9. Schemat budowy noktowizora.

Noktowizory są szeroko stosowane w technice wojskowej jako celowniki do broni strzeleckiej oraz dział, do skrytego prowadzenia w nocy pojazdów mechanicznych /czołgów, samochodów/ do obserwacji terenu. Noktowizor stosowany jako celownik do broni strzeleckiej ma przetwornik obrazu umocowany w miejscu przyrządów celowniczych, a reflektor podczerwieni pod lufą. W pojazdach mechanicznych przetwornik obrazu umieszcza się na hełmie kierowcy lub na szybie pojazdu; rolę reflektora podczerwieni spełnia reflektor pojazdu zaopatrzony dodatkowo w filtr podczerwieni.

Wadą noktowizorów czynnych jest demaskowanie jego miejsca rozlokowania wskutek promieniowania podczerwonego przez reflektor.

Dlatego też do celów obserwacyjnych używa się często biernych urządzeń noktowizyjnych t.j. przyrządów wykorzystujących promieniowanie podczerwone emitowane przez obiekty otaczające.

Luneta fosforograficzna, której schemat przedstawiony jest na rys. 10, jest biernym urządzeniem noktowizyjnym. Zasada działania lunety fosforograficznej jest następująca.

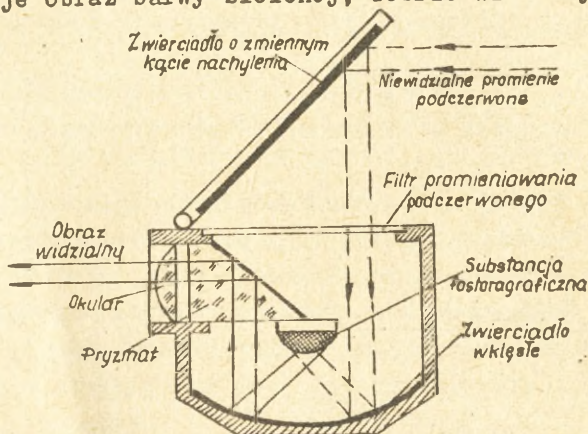


Rys. 10. Schemat lunety fosforograficznej.

Poprzez obiektyw, umocowany w jednym końcu cylindrycznej rury metalowej, wpada do lunety promieniowanie podczerwone od obserwowanego obiektu. Promieniowanie to po odbiciu od zwierciadła wklęsłego, zostaje skupione na ekranie pokrytym substancją luminescencyjną. Obraz, powstały na ekranie pod wpływem padającego promieniowania podczerwonego, obserwowany jest poprzez okular znajdujący się po przeciwnej stronie lunety. Wzbudzenie substancji luminescencyjnej przeprowadza się drogą oświetlenia /co kilka dni/ ekranu promieniowaniem ultrafioletowym, które jest wytwarzane przez żarówkę, światło żarów-

ki jest przysłonięte specjalnym filtrem przepuszczającym promieniowanie ultrafioletowe.

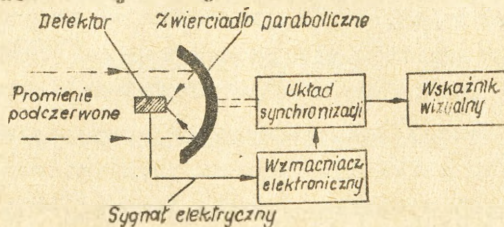
Metaskop, którego schemat przedstawiony jest na rys. 11, jest również biernym urządzeniem noktowizyjnym. Czujnikiem promieniowania podczerwonego w metaskopie jest warstwa fosforu naniesiona na płytkę. Fosfor jest bardzo czuły na promieniowanie podczerwone, więc padające na płytkę poprzez układ optyczny promieniowanie podczerwone wywołuje świecenie fosforu, dzięki czemu powstaje obraz barwy zielonej, dobrze widziany w okularze metaskopu.



Podstawową wadą biernych urządzeń noktowizyjnych jest nie-
możliwość dokładnego określenia kształtu obiektu, będącego źród-
łem promieniowania podczerwonego. Urządzenia te informują jedy-
nie obserwatora o obecności w danym rejonie źródła promieniowa-
nia podczerwonego. Mają dość znaczny zasięg wykrywania do kilku
kilometrów, zaś dla lunet fosforograficznych do kilkunastu ki-
lometrów,

4.2. Termonamierniki

Termonamiernikiem nazywamy urządzenie optyczno-elektroniczne przeznaczone do określenia współrzędnych katowych obiektów / naziemnych, morskich, powietrznych / na podstawie ich własnego promieniowania ciepłego. Schemat blokowy termonamiernika jest przedstawiony na rys. 12.



Rys. 12. Schemat blokowy termonamiernika.

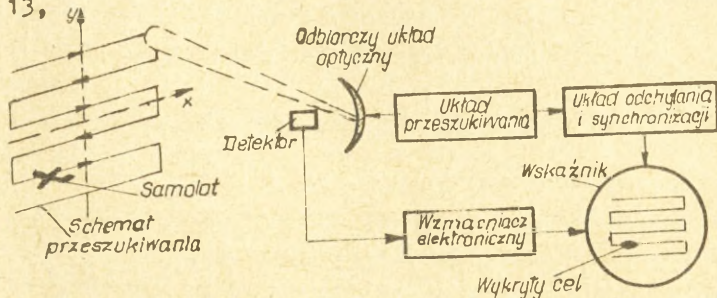
Podstawowymi podzespołami każdego termomiernika są:

- detektor promieniowania podczerwonego o dużej czułości umieszczony w ognisku zwierciadła parabolicznego;
- wzmacniacz sygnałów elektrycznych wzmacniający bardzo słabe sygnały z wyjścia detektora;
- układ synchronizujący odebrany sygnał z chwilowym położeniem zwierciadła parabolicznego;
- wskaźnik optyczny dla określenia położenia obiektu.

Zasada pracy termomiernika jest następująca. Promieniowanie cieplne obiektów /czołgu, samolotu, okrętu itp./ jest skupione za pomocą zwierciadła na czujniku, którego funkcję spełnia detektor promieniowania podczerwonego. Dla określenia położenia wolno poruszających się obiektów wykorzystywane są bolometry oraz fotooporniki w przypadku termomierzania szybko poruszających się obiektów. Słaby sygnał z wyjścia czujnika zostaje wzmocniony do wartości, który umożliwi wystawienie wskaźnika. Układ synchronizacji określa położenie kątowne wzmocnionego sygnału fotoelektrycznego względem osi optycznej zwierciadła termomiernika.

Urządzenia termomierzające można podzielić na termomierniki obserwacyjne i termomierniki śledzące.

Termomierniki obserwacyjne są przeznaczone do poszukiwania wykrywania i określania położenia źródeł promieniowania podczerwonego. Tego rodzaju termomierniki są stosowane w systemach kierowania ogniem i do rozpoznania terenu. Schemat blokowy termomiernika obserwacyjnego przedstawiony jest na rys. 13,



Rys.13. Schemat blokowy termomiernika obserwacyjnego.

Składa się on z następujących podzespołów:

- 1/ odbiorczego urządzenia optycznego odbierającego promieniowanie podczerwone celu i kierujące go na detektor;
- 2/ układu przeszukiwania przestrzeni, który umożliwia odbiór promieniowania;
- 3/ detektora, który przekształca promieniowanie podczerwone w sygnał elektryczny;
- 4/ wzmacniacza elektronowego, w którym jest wzmacniany sygnał otrzymywany z detektora;
- 5/ układu odchylenia i synchronizacji, umożliwiającego odtworzenie na ekranie wskaźnika zobrażenia przeszukiwanej przestrzeni;
- 6/ wskaźnika oscyloskopowego, na ekranie którego można obserwować wzrokowo wykryte źródło promieniowania podczerwonego i określić jego współrzędne kątowe.

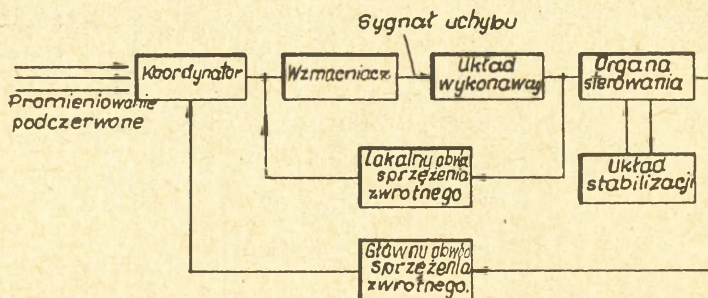
Termonamierniki obserwacyjne umożliwiają wykrywanie wszystkich źródeł promieniowania podczerwonego znajdujących się w polu widzenia obiektywu. Zasięg ich jest rzędu 20-100 km przy kącie obserwacji 20-180°. Rozróżnialność kątowa termonamiernika wynosi 1°. Termonamierniki umożliwiają określenie: dwóch współrzędnych kątowych źródła promieniowania podczerwonego, natężenia tegoż promieniowania, temperatury źródła promieniowania oraz jego rozmiarów.

Termonamierniki śledzące są wykorzystywane w systemach samonaprowadzania rakiet i pocisków na obiekty emitujące promieniowanie podczerwone. Termonamiernik śledzący jest częścią składową koordynatora, który w taki sposób koryguje lot rakiety lub pocisku, aby on stale był skierowany w kierunku celu, którym może być na przykład samolot, rakieta nieprzyjaciela. Zasada budowy takiego termonamiernika śledzącego jest omówiona przy rozpatrywaniu układu samonaprowadzania.

4.3. Układy samonaprowadzania na podczerwien

Układ samonaprowadzania wykorzystujący promieniowanie podczerwone należy do biernych systemów naprowadzania. Przy biernym samonaprowadzaniu, dla otrzymania sygnału sterującego lotem pocisku, wykorzystuje się energię promieniowaną przez sam cel. Schemat blokowy układu samonaprowadzania jest

przedstawiony na rys. 14.

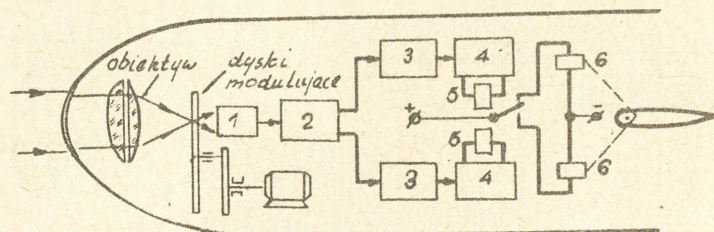


Rys. 14. Schemat blokowy układu samonaprowadzania z koordynatorem na podczerwień.

Najistotniejszą częścią układu jest koordynator, czyli urządzenie porównujące sygnał wejściowy z sygnałem sprzężenia zwrotnego i wytwarzające na tej podstawie sygnał błędny, który jest następnie wzmacniany we wzmacniaczu elektronicznym. Wzmocniony sygnał błędny działa na układ wykonawczy, który sprzężony jest z układem sterowania. Oprócz tego w układzie samonaprowadzania znajdują się urządzenia stabilizujące oraz obwody sprzężenia zwrotnego - lokalnego i głównego.

Koordynatorem w tym układzie jest termonamierz, który odbiera promieniowanie podczerwone i określa położenie źródła tego promieniowania względem własnej osi optycznej.

W przypadkach odchylenia się obiektu od osi optycznej koordynatora powstaje sygnał błędny, który oddziałuje na organy sterujące. Po pokryciu się osi optycznej koordynatora z kierunkiem lotu pocisku na źródło promieniowania podczerwonego koordynator przestaje wysyłać sygnał błędny. Termonamierz śledzący w koordynatorze składa się z następujących podstawowych elementów: obiektywu, dysków modulujących i fotoelementu, który włączony jest w układ elektroniczny, /rys. 15/.



Rys.15. Zasada działania systemu samonaprowadzania.

1/ fotoelement; 2/ wzmacniacz fotoprądu; 3/ filtry; 4/ wzmacniacze; 5/ uzwojenia przekaźnika; 6/ elektromagnetyczne układy sterowania.

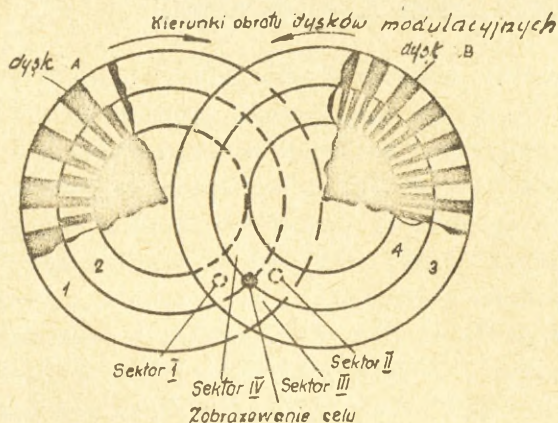
Rozwiązania konstrukcyjne koordynatorów bywają różne. Zasada działania jednego z prostszych zostanie omówiona poniżej.

Energia promieniowania podczerwonego, emitowanego przez cel, skupiana jest przez obięktyw i ogniskowana na fotoelemencie. Skupiony strumień przechodzi przez dwa wirujące z jednakową prędkością dyski modulacyjne, które wzajemnie się nakrywają/rys.16/. Na obwodzie dysków A i B rozmieszczone są dwa szeregi otworów o różnej szerokości. Dzięki wirowaniu dysków i wzajemnym pokrywaniu się w nich otworów następuje modulowanie strumienia podczerwieni z określoną częstotliwością w zależności od położenia obserwowanego obiektu względem osi optycznej koordynatora. Nakrywające się pola dysków A i B tworzą cztery sektory dwa w płaszczyźnie poziomej i dwa w płaszczyźnie pionowej.

Ponieważ dyski A i B obracają się z jednakową prędkością, natomiast liczba i szerokość otworów w poszczególnych szeregach obu dysków jest różna, więc częstotliwość modulacji strumienia podczerwieni będzie różna w każdym sektorze. W przypadku, gdy kierunek lotu na przykład rakiety samonaprowadzającej odchyli się od osi optycznej termonamiernika śledzącego

/koordynatora/ na jego wyjściu powstanie sygnał błędu.

Założmy, że zobrazowanie celu przesunie się w sektor I, co zaznaczono na rys.16. Wówczas na fotoelemencie powstanie sygnał elektryczny o częstotliwości f_1 będącej wypadkową częstotliwości przerywania strumienia podczerwieni przez otwory 2 i 3 szeregu obu krążków A i B.



Rys. 16. Schemat budowy i zasada działania dysków modułacyjnych.

Sygnał o tej częstotliwości po wzmocnieniu wydzielony zostaje przez filtr nastrojony na częstotliwość f_1 , który spowoduje zadziałanie przekaźnika. Przekaźnik zewrze styk, wskutek czego elektromagnes wciągnie rdzeń i obróci ster. Gdy rakieta powróci na oś optyczną, sygnał błędu stanie się równy zero i ster powróci w położenie neutralne.

Przedstawiony na rys.15 układ samonaprowadzania realizuje naprowadzanie rakiety w płaszczyźnie poziomej. Do realizowania naprowadzania rakiety w dwu płaszczyznach potrzebny jest drugi taki sam układ współpracujący z III i IV sektorem dysków modułujących A i B /rys. 16/.

Zasięg samonaprowadzania przy użyciu termonamierników śledzących na podczerwień, stanowiących element koordynatora, zależy od temperatury i wielkości źródła promieniującego energię podczerwieni, a także od stanu atmosfery. Zasięg ten podczas pogodnej nocy jest w granicach do kilkudziesięciu kilometrów.

W ciągu dnia, jak również we mgle i w chmurach zasięg jest mniejszy. Duży zasięg działania rakiet samonaprowadzających z wykorzystaniem podczerwieni pozwala na przechwycenie celu przed wystrzeleniem jej z samolotu. Po wystrzeleniu rakiety samolot nosiciel może wyjść z ataku, ponieważ śledzenie za celem dalej odbywa się przez głowicę samonaprowadzającą.

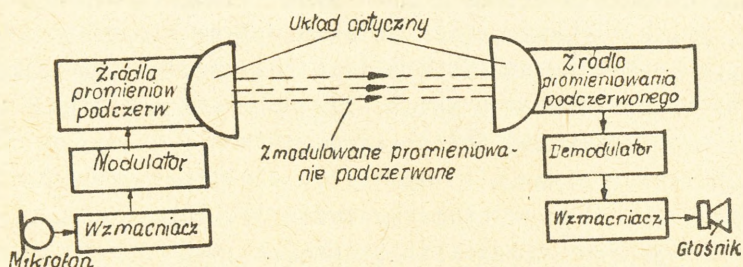
4.4. Telefon w zakresie podczerwieni

W warunkach atmosfery ziemskiej łączność z wykorzystaniem podczerwieni posiada ograniczone zastosowanie i w znacznym stopniu ustępuje pod względem zasięgu działania w porównaniu z łącznością radiową. Ze wzrostem wysokości efektywność zastosowania optycznych środków łączności znacznie wzrasta. W atmosferze oddalonej znacznie od ziemi środki łączności z wykorzystaniem podczerwieni posiadają praktycznie nieograniczony zasięg działania. Doświadczenia prowadzone w kosmosie pozwalają sądzić, że łączność w zakresie podczerwieni znajdzie tutaj szerokie zastosowanie. Łączność ta posiada szereg zalet w porównaniu ze środkami radiowymi, do których należy zaliczyć:

1. Widmo promieniowania podczerwonego pozwala na otrzymanie wielu milionów kanałów łączności.
2. Łączność w zakresie podczerwieni w przestrzeni kosmicznej pozwala wykorzystać promieniowanie słoneczne lub ciepło wydzielane wewnątrz statku kosmicznego.
3. Znaczne zmniejszenie długości fali promieniowanej energii pozwala stosować systemy optyczne o małych wymiarach i o dużej kierunkowości.

Przykładem urządzeń łączności wykorzystujących promieniowanie podczerwone jako nośnik informacji w systemie łączności telefonicznej jest aparat telefoniczny na podczerwień. Uproszczonego schemat blokowy takiego telefonu pokazany jest na rys.17. Tworzą go dwa urządzenia: nadawcze i odbiorcze.

Urządzenie nadawcze obejmuje: źródło promieniowania podczerwonego, modulator, wzmacniacz, mikrofon. Urządzenie odbiorcze obejmuje: detektor promieniowania podczerwonego, demodulator, wzmacniacz słuchawki.



Rys.17. Schemat blokowy telefonu na podczerwień.

Oprócz tego w obu urządzeniach znajdują się układy optyczne z filtrem na podczerwień oraz źródła zasilania.

W nadajniku telefonu podczerwieni jako źródło promieniowania podczerwonego wykorzystywane są żarówki przesłonięte filtrami na podczerwień. Zadaniem modulatora jest zmodulowanie emitowanego promieniowania podczerwonego przez sygnał dźwiękowy.

W odbiorniku telefonu na podczerwień rolę detektora promieniowania spełnia fotoelement/fotokomórka, fotoopornik/. Demodulator wydziela ze zmodulowanego strumienia podczerwieni sygnał o częstotliwości akustycznej, który po wzmacnieniu odzwierciedlany jest w słuchawkach.

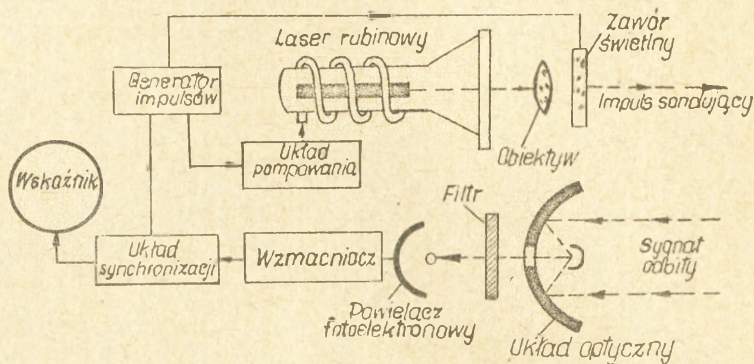
Telefony podczerwieni pracują w zakresie bliskiej podczerwieni $/0,8-1,1\mu\text{m}/$ lub w zakresie średniej podczerwieni $/3-4\mu\text{m}/$. Zasięg działania telefonów podczerwieni leży w granicach bezpośredniej widzialności i jest rzędu 8-16 km. Zaletą telefonów podczerwieni jest tajność transmisji i wyeliminowanie zakłóceń, dzięki bardzo wąskiej wiązce promieniowania rzędu $0,1-0,25^\circ$.

Wąska wiązka promieniowania jednocześnie jest wadą telefonu podczerwieni, gdyż utrudnia nakierowanie układów optycznych na korespondenta.

4.5. Infralokatory

Infralokatory są urządzeniami przeznaczonymi do pomiaru odległości, w których wykorzystano promieniowanie podczerwone. Zasada działania infralokatora jest analogiczna jak radiolokatora. Pomiar odległości do obiektu opiera się na pomiarze czasu, jaki upływa od chwili wysłania sondującego impulsu promieniowania podczerwonego do chwili odebrania odbitego impulsu tegoż promieniowania od obiektu, do którego mierzymy odległości. Charakterystyczną właściwością dla tego typu infralokatorów jest konieczność opromieniowania obiektu energią promieniowania podczerwonego różniącą się w jakiś sposób od promieniowania otaczającego tła. W tym też celu należy dokonać zmiany charakterystyki promieniowania podczerwonego. Z reguły zmiana charakterystyk promieniowania podczerwonego dokonuje się przez zastosowanie modulacji. W przypadku zastosowania lamp impulsowych powodujących modulację odległościomierze elektronowo-optyczne pracujące w zakresie podczerwieni otrzymały nazwę "lokatorów świetlnych".

Uproszczony schemat blokowy infralokatora pracującego w zakresie bliskiej podczerwieni, zbudowanego na laserze rubinowym przedstawiony jest na rys. 18, którego zasada działania jest następująca.



Rys. 18. Schemat blokowy infralokatora laserowego.

Wiązka promieniowania podczerwonego wytworzona w kryształach rubinu jest zawężona za pomocą obiektywu. Częstotliwość powtarzania impulsów wynosi 1 Hz. Za obiektywem zawór świetlny kształtuje tył impulsu. Zawór świetlny jest sterowany impulsami z generatora impulsów, który synchronizuje pracę układu pompowania rubinu.

Urządzenie odbiorcze odbiera odbite promieniowanie podczerwone poprzez układ optyczny, a następnie już skupione pada na filtr podczerwieni, który przepuszcza promieniowanie podczerwone w zakresie 0,6 do 1,3 μm .

Odebrany sygnał odbity zostaje podany na fatokadę powielacza fotoelektrycznego, a następnie zostaje wzmacniany i skierowany przez układ synchronizacji do wskaźnika.

Rolę wskaźnika pełni oscylograf dwustrumieniowy. Zasięg działania tego typu infralokatora typu "Colidar" dochodzi do 10 km.

Rozróżnialność w odległości wynosi 3 m. Zasięg działania jego zależy w dużym stopniu od warunków atmosferycznych. Zmniejsza się on znacznie w przypadku złych warunków atmosferycznych. W warunkach kosmicznych, tj. w przestrzeni pozbawionej atmosfery, zasięg jego może wynosić około 160 000 km przy zachowaniu tej samej mocy sygnału sondującego co w warunkach ziemskich przy zasięgu 10 km.

4.6. Środki i urządzenia podczerwieni stosowane w lotnictwie państw NATO

W samolotach lotnictwa NATO stosuje się szereg urządzeń do obserwacji terenu pracujących na zasadzie wykorzystania promieniowania podczerwonego. Są one stosowane do wykrywania obiektów wydzielających promieniowanie podczerwone lub oświetlanych wiązką promieni podczerwonych. Obok używanych wcześniej urządzeń, jak metaskopy i celowniki, pojawiły się nowe lunety i lornety na podczerwień, termonamierniki, urządzenia alarmowo sygnalizacyjne. Zakres stosowania urządzeń obserwacyjnych na podczerwień instalowanych na samolotach został ostatnimi czasy rozszerzony.

Urządzenia lotnicze posiadają jeszcze szereg wad, które ograniczają ich zastosowanie. Nie zapewniają skutecznej obserwacji w czasie mgły, zachmurzenia, deszczu i w terenie pokrytym gęstą roślinnością. Dodatkową wadą tych urządzeń jest to, że detektory na podczerwień muszą być chłodzone do niskich temperatur, co zwiększa trudności eksploatacyjne.

Współczesne badania biernych lotniczych urządzeń na podczerwień prowadzi się na Zachodzie w kilku kierunkach. Jednym z nich jest znalezienie detektorów pracujących w zakresie fal o długości umożliwiających wykrywanie z dużych wysokości. Prowadzi się również badania zmierzające do zastosowania wielu detektorów podczerwonych ułożonych w kilka rzędów. Układ taki pozwoliłby uzyskać większą zdolność rozdzielczą. Zobrazowane sygnały na wskaźniku o dużej rozdzielczości umożliwiłyby natychmiastowe przedstawienie cieplnego obrazu terenu.

Niektóre z nowszych urządzeń na podczerwień stosowanych w lotnictwie zostaną omówione poniżej.

Termonamiernik AN/UAS-4 jest montowany na samolotach OV-1C Mohawk i przeznaczony do wykrywania celów naziemnych przy locie z prędkością poddźwiękową na wysokości 1500 m. W skład termonamiernika wchodzi bierny detektor termiczny, urządzenie do przekazywania informacji do stacji naziemnych, dwa ekrany z przeznaczeniem do bezpośredniej obserwacji oraz kamera fotograficzna do rejestracji obserwacji. Rezultaty rozpoznania obserwowane są jednocześnie na samolocie i przez stację naziemną. Detektory są chłodzone ciekłym azotem, którego ilość zabezpiecza pracę urządzenia przez 5 godzin. Kątowa zdolność rozdzielcza aparatury wynosi 13 miliradianów, a kąt obserwacji 80° .

Termonamiernik AN/AAS-18 jest zamontowany na samolotach RF-4C Phantom II. Umożliwia wykrywanie celów punktowych z wysokości 3000 m przy różnicy temperatur celu i tła większej niż $0,2^{\circ}\text{C}$. Wyniki rozpoznania rejestrowane są na taśmie filmowej i przekazywane równocześnie na stację naziemną drogą radiową. Zapas taśmy na wysokości 150 m wystarcza na sfotografowanie odcinka terenu 450 km. Termolokator pracuje w zakresie fal 3-5 lub 8-13 μm . Kąt obserwacji wynosi 120° , a kątowa zdolność rozdzielcza 1,5-6 miliradianów.

Termonamiernik AN/AAS-24, montowany na samolocie obserwacyjnym OV-1D Mohawk, jest przeznaczony do prowadzenia rozpoznania w nocy. Zobrazowanie rozpoznawanych obiektów jest na ekranie umieszczone przed pilotem na szybie kabiny samolotu. W porównaniu z termonamiernikiem dotychczas stosowanym można prowadzić obserwację z większych wysokości i wykrywać mniejsze obiekty.

Termonamiernik AN/AAD-2 montowany na bezpilotowych samolotach rozpoznawczych jest przeznaczony do prowadzenia rozpoznania na wysokości 1500 m. Wyniki rozpoznania rejestrowane są na taśmie filmowej i przekazywane drogą radiową do stacji naziemnych. Kąt obserwacji wynosi 120° , a kątowna zdolność rozdzielcza 3 miliradiany.

Celownik na podczerwień 71N jest przeznaczony do wykrywania, śledzenia i obserwowania celów powietrznych. Umożliwia on automatyczne śledzenie celów powietrznych lecących na dowolnych wysokościach. Może być używany na samolotach myśliwskich samodzielnie, lub też współpracować z celownikiem radiolokacyjnym w wypadku stosowania zakłóceń. Zasięg wykrywania na wysokości 14000 m odrzutowego samolotu transportowego do 80 km, odrzutowego samolotu myśliwsko-bombowego do 88 km. Celownik pracuje w zakresie fal 3-5 μ m. Kąt obserwacji w azymucie wynosi $\pm 65^{\circ}$ lub $\pm 40^{\circ}$, a w elewacji $3,9^{\circ}$ lub 7° .

Luneta na podczerwień dla śmigłowców AH-56A Cheyenne służy w czasie lotów nocnych do wykrywania celów naziemnych, które są źródłem promieniowania podczerwonego. Może być sprzężona z dowolnym celownikiem pokładowego uzbrojenia śmigłowca. W skład lunety wchodzi: czujnik na podczerwień, przetwornik sygnałów i zespół elektronicznego zobrazowania obserwowanego terenu.

Luneta na podczerwień ITT służy do obserwowania przedmiotów oświetlonych promieniowaniem podczerwonym. Może być wykorzystywana przez obserwatorów na śmigłowcach. Kąt obserwacji 26° .

W uzbrojeniu wojsk, a w szczególności lotnictwa NATO, znajduje się szereg rakiet powietrze-powietrze i ziemia-powietrze, których układy samonaprowadzania oddziałują na promieniowanie podczerwone samolotów przeciwnika i obiektów naziemnych. Zasadnicze dane tego typu rakiet przedstawione są w ta-

beli nr 1. Znajomość parametrów i ich właściwości użycia przez przeciwnika pozwolą nam na przeprowadzenie analizy, w jaki sposób przeciwdziałać ich skutecznemu działaniu.

Tabela nr 1

Podstawowe parametry rakiet powietrze-powietrze i ziemia-powietrze
z układami samonaprowadzania na podcierwiach

Typ	Prędkość maks. /m./sek.	Zasięg/km. min. maks.	Wysokość zastosow. /m.	Strefa rażenia	Dane dodatkowe
1	2	3	4	5	6
Rakiety powietrze-powietrze					
Falcon II AIM-4C	650	1,1	0-18000	0-3/4	Używany przez lotnictwo obrony powietrznej USA. Bierny układ samonaprowadzania.
Falcon AIM-4D	650	1,1	0-21000	0-4/4	" "
Super Falcon AIM-4F	900	1,1	0-21000	0-4/4	" "
Super Falcon AIM-4G	900	1,2 9,2		0-4/4	Posiada lepszą manewrowość w porównaniu z poprzednim. Bierny układ samonaprowadzania.
Falcon HM-58 /RB-28/	1000	1,1		0-4/4	Używany przez lotnictwo obrony powietrznej państw NATO. Bierny układ samonaprowadzania.
Falcon AIM-47A	2000	7,4		0-4/4	Perspektywiczny. Kierowanie bierny układ samonaprowadzania na podcierwiach oraz układ radiolokacyjny.

1	2	3	4	5	6
Sidewinder 1 AIM-9A	800	$\frac{0,9}{6}$	0-18000	0-3/4	Stosowany w lotnictwie taktycznym i lotnictwie sił morskich NATO. Odporny na zakłócenia. Bierny układ samonaprowadzania.
Sidewinder 1A AIM-9B	500	$\frac{11}{11}$	0-21000	0-3/4	Stosowany na samolotach myśliwsko-bombowych NATO. Bierny układ samonaprowadzania.
Sidewinder 1C1R AIM-9D	800	$\frac{17}{17}$	0-24500	0-4/4	Wykorzystywany do działań na małych wysokościach.
Firstreak	700	$\frac{1,2}{6,8}$	0-17000	0-3/4	Stosowany w lotnictwie Wielkiej Brytanii. Bierny układ samonaprowadzania na podczuwien, pracujący w zakresie fal 0,7-15 mm.
Red Top	1000	$\frac{1,2}{16}$	0-20000	0-4/4	Montowany na samolotach F4U-3 i FMK-6 Lightning. Bierny układ samonaprowadzania.
Tall Dog		$\frac{0,25}{2,2}$			Perspektywny o dużej manewrowości. Bierny układ samonaprowadzania.
Redeye MIM-43A		$\frac{5-6}{1500}$			Do zwalczania celów na małych wysokościach przez pojedynczych żołnierzy. Układ samonaprowadzania analogiczny jak "Sidewinder".

1	2	3	4	5	6
Rapier	2600	$\frac{4-8-8}{-}$	4000		Zestaw z czterech rakiet przewożony przez samochód osobowo-terenowy lub na wozach bojowych. Posiada nasadę świetlną do obserwacji toru lotu rakiet.
Chaparral		$\frac{-}{-5}$	3000		Do zwalczania celów na małych wysokościach montowana na pojazdach.

5. PRZECIWDZIAŁANIE URZĄDZENIOM PRZECIWNIKA PRACUJĄCYM

W ZAKRESIE PODCZERWIENI

5.1. Sposoby przeciwdziałania urządzeniom pracującym w zakresie podczerwieni

Przeciwdziałanie środkom pracującym w zakresie podczerwieni obejmuje kompleks przedsięwzięć zmierzających do: osłabienia charakterystyk cieplnych obiektów osłanianych, utrudnienia określenia ich współrzędnych urządzeniami rozpoznawczymi, uniemożliwienia wykrycia ich i naprowadzania nań rakiet kierowanych.

Do podstawowych sposobów przeciwdziałania urządzeniom podczerwieni należy:

- maskowanie obiektów przed promieniowaniem cieplnym;
- stosowanie pozornych celi cieplnych;
- fizyczne oddziaływanie na urządzenia rozpoznania, wykrywania i naprowadzania pracujących w zakresie podczerwieni.

Maskowania obiektów /aparatów latających/ przed promieniowaniem cieplnym dokonuje się w celu obniżenia mocy sygnału na wejściu odbiornika i zmniejszenia charakterystyki promieniowania cieplnego obiektu. Można tego dokonać przez:

- ochładzanie silników, pokryć aparatów latających i strug gazów wylotowych za pomocą środków ochładzających, płynów lub powietrza;
- sztuczne zmętnianie atmosfery;
- ekranowanie przed promieniowaniem rozgrzanych elementów silnika.

Metoda ochładzania silników jest w sprzeczności z zapewnieniem wymaganych danych taktyczno-technicznych aparatów latających i może mieć miejsce tylko w wyjątkowych wypadkach.

Realnie możliwe jest obniżenie promieniowania cieplnego w wyniku sztucznego chłodzenia powierzchni aparatów latających. Istnieją trzy sposoby chłodzenia powietrzem: konwekcyjny; przez utworzenie sztucznej warstwy izolacyjnej zimnego powietrza nad powierzchnią chłodzoną; przez zastosowanie materiałów porowatych.

Sztuczne zmętnianie atmosfery polega na wytworzeniu obłoku zawieszin, które w połączeniu z powietrzem wydzielają duże ilości ciepła. Stosując tego rodzaju środki przy równoczesnym wykonaniu manewru samolot może wyjść w bezpieczną strefę. Wadą tego sposobu maskowania jest to, że utrzymywanie się obłoku zawieszin zależy od rozmiaru jego cząsteczek i prędkości przemieszczania się mas powietrza.

Sztuczne obłoki dymu posiadające równocześnie właściwości maskujące promieniowania cieplnego i będące źródłem promieniowania cieplnego mogą znaleźć szerokie zastosowanie ze względu na ich prostotę otrzymania i wielokrotne użycie. Tego rodzaju środkiem jest np. materiał o składzie chemicznym czterochłórek tytanu, który wytwarza obłok dymu i daje znaczne osłabienie promieniowania podczerwonego w zakresie $6 \mu\text{m}$.

Prowadzone są również prace badawcze nad rozpylaniem na drodze lotu samolotu obłoku z piasku lub małych cząsteczek żelaza.

Przy zderzeniach na dużych prędkościach rakiet samonaprowadzających na podczerwień z tymi cząsteczkami, może nastąpić uszkodzenie najbardziej delikatnej części głowicy, co z kolei uczyni raketę w pełni niesprawną. Jednym z najbardziej efektywnych sposobów przeciwdziałania urządzeniom podczerwieni jest stosowanie pozornych celów cieplnych.

Pozorne cele cieplne przeznaczone są dla wprowadzenia fałszywej informacji w termonamierniki śledzące i koordynatory cieplnych głowic samonaprowadzających rakiet kierowanych.

Odbiór fałszywej informacji przez termonamiernik koordynatora może spowodować błędne określenie współrzędnych osłanianego obiektu, a tym samym wyprowadzić raketę kierowaną z głowicą samonaprowadzającą z określonego toru lotu.

Jako pozorne cele cieplne mogą być stosowane:

- aerodynamiczne rakiety pułapki /zwykle kombinowane cieplne i radiolokacyjne, przykładem tego typu pułapki jest rakietą kierowaną GAM-72 stosowana na samolocie B-52/;
- balistyczne pociski pułapki;
- wystrzeliwane, zrzucone na spadochronach lub holowane pułapki cieplne.

Promieniowanie w zakresie podczerwieni przez pozorne ciepłe cele /pułapki/ uzyskuje się dzięki spalaniu związków pirotechnicznych, które mogą być w postaci paliwa stałego, ciekłego lub gazowego. Pułapki tego typu w czasie spalania paliwa powinny znajdować się między osłanianym samolotem i atakującą rakieta i na takiej odległości, aby zapewnić bezpieczeństwo własnemu samolotowi przed rażeniem odłamkami przy wybuchu rakiety.

Dla wystrzeliwania pocisków balistycznych imitujących ciepły cel stosuje się specjalne urządzenia startowe, raketnice i automaty. Aparatura tego typu powinna zapewniać wystrzeliwanie pozornych celów cieplnych pojedynczo, seriami i grupami o różnej intensywności.

Fizyczne oddziaływanie na urządzenia rakiet samonaprowadzających wykorzystujących promieniowanie podczerwone polega na:

- niszczeniu optycznych układów głowic samonaprowadzających rakiet kierowanych;
- przeciążeniu fotoelementów promieniowaniem podczerwonym;
- sztucznym wprowadzaniu sygnału błędu w system śledzący rakiety kierowanej.

Niszczenie optycznych układów pocisków kierowanych osiąga się przez rozsiewanie małych twardych cząsteczek na drodze lotu rakiety kierowanej.

Oddziaływanie na fotoelement polega na przeciążeniu jego promieniowaniem podczerwonym w sposób krótkotrwały lub długotrwały. Krótkotrwałe przeciążenie można wywołać przez błysk o dużej intensywności w pobliżu koordynatora rakiety na podczerwień. Długotrwałego oddziaływania dokonuje się za pomocą generatorów kwantowych /laserów/. Trudność użycia laserów polega na tym, że należy dokładnie skierować wiązkę promieniowania lasera na rakieta kierowaną z dokładnością kątową rzędu sekund.

Wprowadzanie sztucznie sygnału błędu w układ śledzący koordynatora ciepłego rakiety odbywać się może przez specjalne źródła promieniowania ciepłego rozmieszczone na osłanianym obiekcie promieniujące zakłócenia modulowane w zakresie fal

podczerwonych. Częstotliwość modulacji zakłóceń powinna w przybliżeniu być równą częstotliwości modulacji sygnału użytecznego odebranego przez odbiornik energii cieplnej rakiety kierowanej, jednak różnić się co do fazy. Tego rodzaju zakłócenia nazywamy selektywnymi w częstotliwości modulacji. Użycie takich zakłóceń praktycznie jest niemożliwe do zrealizowania, ponieważ trudno jest rozpoznać częstotliwość modulacji w odbiorniku rakiety kierowanej. Zależy to bowiem od rozwiązań konstrukcyjnych układów modulacyjnych. Niekiedy przybliżone zakresy częstotliwości modulacji w urządzeniu odbiorczym mogą być znane wcześniej, co pozwala zastosować zakłócenia zmieniające się w częstotliwości modulacji. Tego rodzaju zakłócenia noszą nazwę /poślizgowe/ "pływające".

5.2. Efektywność zakłóceń stosowanych przeciwko urządzeniom podczerwieni w systemach samonaprowadzania rakiet

Zakłócenia stosowane przeciwko urządzeniom podczerwieni w systemach samonaprowadzania rakiet uważamy za efektywne, jeśli zapewniają zmniejszenie do określonego poziomu prawdopodobieństwo wykrycia celu i spowodują uchybienie środka rażenia względem atakowanego celu.

Zmniejszenie prawdopodobieństwa wykrycia celu można uzyskać przez maskowanie go przed promieniowaniem cieplnym, przez stosowanie ciepłych celi pozornych lub przez fizyczne oddziaływanie na środki podczerwieni rozpoznania, wykrywania i samonaprowadzania. Najbardziej pożądane efekty osiąga się przez stosowanie ciepłych celi pozornych.

Aby stosowanie ciepłych celi pozornych było efektywne, muszą być spełnione następujące warunki:

- widmo częstotliwości promieniowania ciepłych celi pozornych powinno pokrywać się z pasmem przepuszczania odbiornika podczerwieni zakłócanego systemu naprowadzania;
- czas przebywania ciepłego celu pozornego w polu widzenia układu optycznego koordynatora ciepłego powinien być wystarczający dla równoczesnego przechwycenia celu pozornego i maskowanego obiektu przez system śledzący rakiety kierowanej;

- moc I_{ccp} promieniowania cieplnego celu pozornego przypadająca na jednostkę kąta bryłowego powinna być określona ilością razy większą od mocy promieniowanej przez cel I_c w tym samym zakresie widma częstotliwości tj.

$$I_{ccp} > K_z'' I_c \quad /4/$$

gdzie K_z'' wymagane przewyższenie mocy promieniowania cieplnego celu pozornego nad mocą promieniowaną przez obiekt osłaniany /analogicznie jak w zakłóceniach radiowych często nazywany współczynnikiem tłumienia w zakresie podczerwieni/.

Rozpatrując system samonaprowadzania w zakresie podczerwieni, współczynnikiem tłumienia $/K_z''/$ nazywamy taki minimalny stosunek mocy promieniowania cieplnego celu pozornego do mocy promieniowania cieplnego przez obiekt osłaniany na wejściu zakłócanego odbiornika, który jest wystarczający dla spowodowania chybienia rakiety względem celu. Współczynnik tłumienia $/K_z''/$ uwzględnia dopuszczalny stosunek przemieszczania kątownego celu pozornego względem osłanianego obiektu obserwowanego przez układ optyczny cieplnego koordynatora rakiety kierowanej

$$K_z'' = \frac{I_{ccp}}{I_c} \quad /5/$$

Wielkość współczynnika tłumienia zależy od właściwości inercyjnych systemu samonaprowadzania cieplnej głowicy rakiety kierowanej. Im większa inercyjność systemu śledzącego, tym większa powinna być wartość współczynnika tłumienia K_z'' , aby pokonać bezwładność i przelocować system śledzący z osłanianego obiektu na oddalony od niego pozorny cel. Przelocowanie rakiet kierowanych z cieplnymi głowicami samonaprowadzania na pozorny cel zapewnia się przy wartości $K_z'' = 2$ zakładając, że prędkość kątowna przemieszczania cieplnego celu pozornego względem osłanianego obiektu nie przewyższa 5 stop/s.

Warunek energetyczny efektywnego stosowania cieplnych celi pozornych uwzględniający temperaturę można zapisać w postaci.

$$S_{ccp} > \frac{I_{ccp}}{I_c} S_c / \frac{T_c}{T_{ccp}} /^4 \quad /6/$$

gdzie: S_{ocp} , S_o - odpowiednio, rzut powierzchni promieniującej cieplnego celu pozornego i osłanianego obiektu w kierunku obserwacji układu optycznego koordynatora cieplnego

T_{ocp} , T_c - temperatura cieplnego celu pozornego i osłanianego obiektu w stopniach Kelwina.

Ze wzoru /6/ wynika, że mimo ograniczonej powierzchni pozornego celu wymagana moc cieplnego promieniowania można uzyskać przez podwyższenie jego temperatury. Ze wzrostem temperatury całkowite promieniowanie cieplne celu pozornego rośnie proporcjonalnie do czwartego stopnia. Wraz z tym widmo promieniowania przesuwają się w stronę bardziej krótkich fal. W związku z tym stosunek energetyczny w widmie promieniowania cieplnego pogarsza się na korzyść osłanianego obiektu.

Uwzględniając to zjawisko dla zmniejszenia efektywności oddziaływania pozornych celów cieplnych z kolei stosuje się w rakietach kierowanych filtry o maksymalnej osłoukości w obszarze promieniowania cieplnego silników aparatów latających. W ostatnich modyfikacjach pocisku kierowanego na podczerwień typu "Sidewinder" stosuje się fotoelementy o maksymalnej osłoukości w obszarze 4-5 μm ..

Znaczne zwiększenie efektywnego promieniowania cieplnego celu pozornego można uzyskać przez szybsze rozprzestrzenianie się reakcji spalania na całej powierzchni materiału pirotechnicznego. Wówczas maksimum promieniowania osiąga się w krótszym czasie /0,4-0,5s/ po wystrzeleniu cieplnego celu pozornego.

Wymagany czas spalania się cieplnego celu pozornych t_{sp} określa się od momentu ich wystrzelenia do chwili wyjścia osłanianego obiektu z pola obserwacji układu optycznego cieplnej głowicy samonaprowadzającej. Czas ten można określić wzorem:

$$\frac{g t_{sp}}{2} + V_{rk} t_{sp} - D_o \varphi_o = 0 \quad /7/$$

gdzie: V_{rk} - prędkość rakiety kierowanej z cieplną głowicą;

g - przyspieszenie ziemskie;

D_o - odległość między pociskiem kierowanym a osłanianym obiektem w momencie wystrzeliwania rakiety;

φ_0 - kąt zawarty pomiędzy kierunkiem na ciepłą głowicę i podłużną osią osłanianego obiektu.

Z wzoru wynika, że t_{sp} rośnie ze wzrostem odległości D_0 i φ_0 .

Dla odległości $D_0 = 11-12$ km i $\varphi_0 = 3^\circ$ średni czas spalania ciepłego celu pozornego powinien wynosić nie mniej niż 10 s.

5.3. Metoda obliczeń użycia środków do zakłócania urządzeń podczerwieni rakiet kierowanych

Metoda obliczeń użycia środków do zakłócania urządzeń podczerwieni rakiet kierowanych oparta jest na ocenie efektywności środków omówionych w poprzednim rozdziale. Obliczenia dotyczą określenia wymaganej ilości środków dla odparcia jednego ataku myśliwca stosującego kierowane rakiety z ciepłymi głowicami samonaprowadzania.

Metoda obejmuje określenie danych wyjściowych do obliczeń i bezpośrednio obliczenia. Wyjściowymi danymi do obliczeń są:

- dane o osłanianym obiekcie; typ obiektu osłanianego i jego moc promieniowania I_c w zakresie pracy ciepłej głowicy rakiety samonaprowadzania, prędkość osłanianego obiektu V_c ;

- dane o przeciwniku; prędkość myśliwca atakującego V_m , oczekiwany typ rakiety kierowanej, zakresy długości fal promieniowania podczerwonego odbieranego przez odbiornik ciepłej głowicy $[\lambda_{min}, \lambda_{maks}]$, minimalna odległość wystrzelenia rakiety D_{min} , prędkość lotu rakiety kierowanej V_r , kąt widzenia ciepłej głowicy rakiety φ_0 , współczynnik tłumienia K_z , jaki należy zastosować w obliczeniach dla danego typu rakiety;

- dane o stosowanych ciepłych celach pozornych: ilość ciepłych celów pozornych, które mogą być wystrzelone, sposoby wystrzelenia /serią pojedynczo/, czas spalania ciepłego celu pozornego t_{sp} .

Ciepłe cele pozorne wystrzeliwuje się po uprzednim odbiorze sygnałów przez odbiornik ostrzegania, względnie przez radiolokacyjny celownik bombowy, jeśli jest on w stanie wykryć myśliwiec atakujący i odróżnić wystrzelone przez niego rakiety z ciepłymi głowicami samonaprowadzającymi.

Kolejność obliczeń na użycie cieplnych celi pozornych jest następująca:

- 1/ Określamy wymaganą sumaryczną moc promieniowania źródła zakłóceń w zakresie podczerwieni z warunku:

$$I_{ccp} \geq K_z'' I_0 \quad /8/$$

- 2/ Na podstawie mocy promieniowania pojedynczego cieplnego celu pozornego I_{ccp1} i wyliczonego $I_{ccp\Sigma}$ określa się ilość cieplnych celi pozornych n_{ocp} w serii

$$n_{ocp} = \frac{I_{ccp\Sigma}}{I_{ccp1}}$$

- 3/ Określa się sposób wystrzeliwania cieplnych celi pozornych serią lub salwą. Ponieważ cieplne głowice samonaprowadzające nie posiadają układów selekcji celów w odległości, to odstęp czasowy między wystrzeliwanymi poszczególnymi cieplnymi celami pozornymi t_1 dobiera się spełniając warunek następujący. Wszystkie cieplne cele pozorne n_{ocp} powinny znajdować się równocześnie w objętości rozróżniającej cieplnej głowicy samonaprowadzającej na minimalnej odległości od wystrzelonych rakiet kierowanych D_{min} i w maksymalnym dopuszczalnym kącie kursowym q_{maks}

$$t_1 = \frac{D_{min} \varphi_0}{v_c n_{ocp} \sin q_{maks}} \quad /9/$$

Jeśli w rezultacie obliczeń otrzymamy t_1 mniejsze od minimalnego możliwego odstępu czasowego, to należy zastosować strzelanie salwą.

- 4/ Określa się ilość salw /serii/ m_s dla odparcia jednego ataku. Odstęp czasowy między salwami t_s powinien odpowiadać czasowi spalania jednego cieplnego celu pozornego tj.

$$t_s = t_{sp}$$

Ilość salw m_s określa się według wzoru:

$$m_s = \frac{t_{zbl}}{t_{sp}} \quad /10/$$

gdzie t_{zbl} - czas zbliżenia się myśliwca atakującego do samolotu celu od chwili automatycznego prowadzenia D_{aut} celu przez radiolokacyjny celownik myśliwca do minimalnej odległości, przy której może nastąpić wystrzelenie rakiet kierowanych D_{min}

$$t_{zbl} = \frac{D_{aut} - D_{min}}{V_m - V_c \cos \varphi} \quad /11/$$

5/ Określa się sumaryczną ilość cieplnych celi pozornych dla odparcia jednego ataku wykonywanego przez myśliwca strzelającego rakietami samonaprowadzającymi na podczerwień

$$n_{ccp\Sigma} = n_{ccp} \cdot m_s \quad /12/$$

6/ Określa się ilość ataków N_{at} , które mogą być zerwane dzięki zastosowaniu cieplnych celi pozornych

$$N_{at} = \frac{n_{ccp}}{n_{ccp\Sigma}} \quad /13/$$

5.4. Maskowanie naziemnych obiektów przed rozpoznaniem w zakresie podczerwieni

Do środków maskujących przed rozpoznaniem w zakresie podczerwieni zaliczamy: aerozole /dymy, sztuczne mgły/, środki oświetlające /pociski i granaty świetlne, lotnicze bomby oświetlające, reflektory/, pozorne obiekty cieplne.

Maskowanie obiektów za pomocą dymów i sztucznej mgły polega na tłumieniu promieniowania podczerwonego /zmniejszeniu przezroczystości atmosfery/. Na tłumienie promieniowania podczerwonego wpływają dwie przyczyny: pochłanianie energii promienistej oraz jej rozpraszanie. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale 1.3.

Dymy i sztuczne mgły mogą być zastosowane do maskowania przed urządzeniami obserwacyjnymi podczerwieni pracującymi w zakresie 0,78 do 1,4 μ m. Maskowanie jest tym skuteczniejsze im większa koncentracja zadymiania /mgły/ i im większe są wymiary cząsteczek dymu /kropli mgły/.

Normy zużycia środków dymnych do stawiania zasłon dymnych lub oślepienia punktów obserwacyjnych podane są w tabeli

2 i 3.

Tabela 2

Zużycie świec dymnych na wykonanie 1 km zasłony dymnej w ciągu jednej godziny

Wiatr	Warunki meteorologiczne	Świece dymne /szt./					
		DM-11	DMCh-5	DMCh-15	BDSz-5	BDSz-15	
czołowy	sprzyjające	600	450	150	70		
	średnie	800	600	200	90		
	niesprzyjające	1200	900	300	120		
boczny	sprzyjające	300	200	75	25		
	średnie	400	300	100	30		
	niesprzyjające	600	450	150	40		

Tabela 3

Zużycie pocisków dymnych na wykonanie zasłony dymnej lub do osłepienia przed obserwacją

Kaliber pocisków /granatów/	Zasłona dymna szerokości 1 km w ciągu 15 min.		Do osłepiania PO na czas 15 min.	
	wiatr czołowy 5 m/s	wiatr boczny 5 m/s	wiatr czołowy do 5 m/s	wiatr boczny do 5 m/s
76,85 mm	1000	500	120	200
82 mm	500	250	40	-
100,120 i 122 mm	300	150	40	20
				50
				80
				30
				30

Skutecznym sposobem zakłócania urządzeń noktowizyjnych jest oświetlanie ich obiektywów. Osiąga się to przez krótkotrwałe okresowe opromienianie miejsc prawdopodobnego rozmieszczenia przyrządów noktowizyjnych przeciwnika silnymi źródłami światła /reflektorami/ lub przez stawianie zasłon świetlnych. Do wytworzenia zasłon świetlnych stosuje się środki pirotechniczne, jak: naboje sygnałowe, pociski i granaty świetlne, lotnicze bomby oświetlające.

Aby zamaskować obiekty charakteryzujące się dużym promieniowaniem cieplnym, przed obserwacją urządzeń podczerwieni zniekształca się tło terenu przez zrównanie promieniowania cieplnego obiektów z cieplnym tłem terenu lub przez budowę cieplnych obiektów pozornych.

Zniekształcenie cieplnego tła terenu osiąga się przez zmniejszenie promieniowania cieplnego obiektów, budowę dodatkowych źródeł promieniowania cieplnego o różnej mocy i wymiarach oraz przez malowanie powierzchni obiektów farbami o różnych współczynnikach odbijania i pochłaniania promieniowania podczerwonego.

Do pozoracji obiektów naziemnych stosuje się różnego rodzaju źródła promieniowania cieplnego. Źródłem ciepła mogą być paliwa stałe, płynne lub gaz /gaz ziemny/. Przedsięwzięcia te mają na celu przede wszystkim walkę z cieplnymi głowicami samonaprowadzania rakiet i bomb lotniczych.

Maskowanie wojsk, uzbrojenia i techniki bojowej przed obserwacją i ogniem nieprzyjaciela, stosującego przyrządy pracujące w zakresie podczerwieni, osiąga się przede wszystkim przez umiejętne wykorzystanie maskujących właściwości terenu, jego rozbudowę inżynierską i przestrzeganie zasad maskowania. Najważniejsze obiekty maskuje się za pomocą specjalnych ekranów /azbestowych/ i pokryć, które odbijają lub pochłaniają promieniowanie podczerwone.

Wydrukowano w 50 egz.

Egz. Nr 1-50 B.T.
Wyk. ppłk mgr inż. K. Piątkowski
Druk. S.Cz. dnia 17.09.1973 r.
Nr ks.masz. pf 1508/2832/WW
Kor.M.E.

B i b l i o g r a f i a

Promieniowanie podczerwone - H.L. HACKFORTH
Vademecum zastosowań elektroniki - Bernard BUŚKO
Zasady przeciwdziałania radioelektronicznego - MON
Infrakrasnyje systemy - L.Ż. KRIKSUNOW
Infrakrasnaja technika w wojennom diele - A. IWANOW
Organizacja radioelektrono protivodiejstwa w czastiach
i sojedinienjach WWS - Wojenno Wozdusznaja Krasnoznamennaja
Akademia im. GAGARINA.

