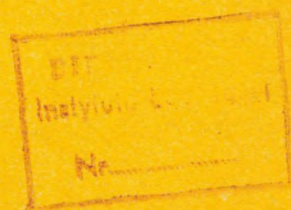


1 9 6 2
Nr 7 (10)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD
ZAGADNIENI
ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI

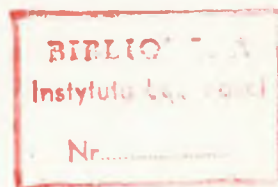
ROK 2

WARSZAWA 1962

NR 7(10)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej



Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler

Członkowie:

mgr inż. Władysław Cetner, inż. Edmund Janowski,
doc. Stefan Jasiński, mgr Kazimierz Kotowski,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności
Ośrodek
Informacji Techniczno-Ekonomicznej
Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

Na prawach rękopisu - do użytku służbowego

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 600. Druk ukończono
we wrześniu 1962 r

PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI

Propagacja fal

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wilkins A.F. - Stan obecny i perspektywy rozwojowe radiokomunikacji krótkofalowej - Opracował R. Rau	1
2. Albrecht H.J. - Nowe punkty widzenia na transoceaniczną propagację fal krótkich w odniesieniu do radiokomunikacji - Opracował S. Borowski.	28
3. Wolfram R.T. - Ulepszenie radiokomunikacji przez wykorzystanie propagacji za pomocą odbić rozproszonych od ziemi - Opracował S. Borowski.	44
4. Scherman E.D.R. - Badanie użyteczności sondowania rozproszenia wstecznego w pracy służb radiofonicznych na falach metrowych - Opracował S. Borowski .	52

621.396.029.6.001.1

STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJOWE
RADIOKOMUNIKACJI KRÓTKOFALOWEJ^{1/}

Wilkins A.F.: H.F. Propagation - its Present and Future Use for Communications Purposes. Journal of the British Institution of Radio Engineers. Vol. 20, nr 12, 1960, str. 939.

1. WSTĘP

Rozwój łączności krótkofalowej datuje się od roku 1923. Stwierdzono wówczas zdolność tych fal do rozchodzenia się na wielkie odległości. Wkrótce przekonano się też, że choć moc promieniowana wymagana dla uzyskania określonego natężenia pola w odległym punkcie jest współmierna z mocą wymaganą na falach długich, to jednak moc nadajnika może być znacznie mniejsza. Wynika to z większej sprawności i lepszych właściwości kierunkowych anten krótkofalowych.

Ujawniono też wady łączności krótkofalowej. Należą tu zaniki ciągłe sygnału odbieranego, silne jego osłabienie lub nawet zupełne stłumienie na kilkudniowe okresy. Stan taki nie pozwala na ogół na całodobową łączność przy stosowaniu jednej częstotliwości roboczej. Przyczyny tych nieregularnych zjawisk, jak również sam sposób rozchodzenia się fal krótkich nie były wówczas

^{1/} Na podstawie oryginału opracował R. Rau.

znane. W roku 1924 Appleton i Barnett stwierdzili istnienie zjonizowanej, odbijającej warstwy na wysokości około 100 km /zwanej dziś warstwą E/. Wyższą warstwę, mającą zasadnicze znaczenie dla łączności dalekiego zasięgu, odkrył Appleton w 1925 r /zwaną dziś warstwą F/.

Po odkryciu Appletona w wielu krajach podjęto obszernie badania jonosfery. Prace rozwijały się równoległe jako teoretyczne i doświadczalne. Pomimo wielkich osiągnięć w tej dziedzinie, do dziś istnieją pewne luki, które uniemożliwiają obliczanie łącz z wystarczającą dla inżynierskich potrzeb dokładnością. W niniejszej pracy wskazuje się owe luki oraz omawia prace zmierzające do ich usunięcia.

2. WYBÓR CZĘSTOTLIWOŚCI PRACY

Od roku 1923 udział łącz krótkofalowych w międzynarodowej radiokomunikacji stale wzrastał i dziś jest dominujący. Z faktu tego wynika jednocześnie główna obecna trudność; jest nią brak miejsca w pasmie krótkofalowym na nowe częstotliwości. Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna notuje w swych wykazach ponad 200. tysięcy starych stacji; jest bardzo trudnym zagadnieniem zabezpieczyć dla nich właściwe częstotliwości tak, aby nie następowały wzajemne interferencje. Już od dawna istnieje konieczność przyznawania wspólnej częstotliwości dla szeregu stacji, z tym iż podział jej następuje według czasu pracy albo według położenia geograficznego. W tym ostatnim przypadku wspólną częstotliwość przyznaje się

stacjom tak odległym, aby interferencja ich była nieodczuwalna.

Dla właściwego rozdziału częstotliwości potrzebna jest znajomość praw rządzących propagacją, znajomość aktualnego stanu jonizacji jonosfery oraz możliwość prognozowania tego stanu. W szczególności dotyczy to podstawowych radiokomunikacyjnych parametrów MUF^{1/} i LUF^{2/} dla danej odległości między dwoma korespondującymi punktami. Metody prognozowania zostały stworzone podczas ostatniej wojny i następnie udoskonalone, lecz stale jeszcze trafność ich pozostawia wiele do życzenia i to zarówno w prognozowaniu krótkoterminowym, jak i w zastosowaniu do prac związanych z rozdziałem częstotliwości.

Prognozowanie oparte jest na danych pionowego sondowania jonosfery zbieranych z około 120 stacji rozmieszczonych na całym świecie. Dane te, z pomocą interpolacji, pozwalają określić dzienny przebieg jonizacji w punktach o dowolnym położeniu geograficznym. Prognozowanie powyższych danych na kilka miesięcy naprzód jest możliwe dzięki jedenastoletniemu okresowi aktywności słońca. Pewną miarą tej aktywności jest względna liczba plam na słońcu, jednakże ich miesięczny przebieg nie koreluje ze stanem jonosfery. Rozbieżność ta szczególnie wyraźnie występuje w pobliżu maksimum cyklu aktywności.

Jeżeli rozważymy dostatecznie długi okres, to średni błąd prognozowania częstotliwości krytycznych okaże się

1/ Największa częstotliwość użyteczna.

2/ Najmniejsza częstotliwość użyteczna.

równy zeru, ponieważ prawdopodobieństwa popełnienia błędu w dół i w górę będą równe. Trafność prognozy należy więc ocenić rozrzutem błędów. Porównania, między wartością częstotliwości krytycznej zmierzoną bezpośrednio oraz uzyskaną na podstawie sześciomiesięcznych prognoz a odczytaną z odpowiednich map jonosferycznych, wskazują, iż różnica wynosi około 15% dla warstwy F2 i 5% dla warstwy E, której wahania są znacznie bardziej regularne.

MUF dla propagacji na daną odległość i za pośrednictwem danej warstwy uzyskujemy jako wynik mnożenia częstotliwości krytycznej w punkcie odbicia przez współczynnik MUF dla danej odległości, oznaczany w skrócie M/D/. Ten ostatni jest wyznaczany w R.R.S.^{1/} na podstawie kilku parametrów jonosfery za pomocą metody Appletona i Beynona opublikowanej w 1940 r. Metoda ta daje dobre rezultaty do odległości między korespondującymi punktami odpowiadającej jednemu odbiciu /skokowi/. Dla zakresu większych odległości stosowana jest dotychczas inna metoda, mająca charakter empiryczny. Jest to metoda uproszczona, w której rozważa się tylko zakończenia trasy i tylko dwa punkty kontrolne jonosfery odpowiadające jednemu skokowi patrząc z końców trasy. Ponieważ przyjmuje się, że jeden skok dla warstwy F wynosi 4000 km, a dla warstwy E - 2000 km, to odległość punktów kontrolnych od końców trasy wyniesie odpowiednio 2000 i 1000 km.

^{1/} Radio Research Station, Slough, W. Brytania.

Tak więc, metoda ta nie uwzględnia stanu jonosfery na całej pozostałej trasie, niezależnie od jej długości. Dokładne przeliczenie trasy wymaga szczegółowego ustalenia rodzaju możliwej propagacji w oparciu o znajomość stanu jonosfery na całej trasie.

W pracach związanych z rozdziałem częstotliwości, a tym bardziej w pracach nad ogólnym planowaniem łącz radiokomunikacyjnych, wyłoniły się więc następujące pilne potrzeby:

- a/ bardziej dokładne prognozowanie F2 i M /D/,
- b/ zaniechanie stosowania metody dwu punktów kontrolnych i rozpatrywanie aktualnego rodzaju propagacji,
- c/ w uzupełnieniu do rodzajów wykorzystujących odbicie od warstw E, F1 i F2, uwzględnianie również propagacji dochodzącej do skutku za pomocą warstwy E sporadycznej /Es/.

2.1. Poprawa prognozowania F2 i M /D/

Stwierdzono, że względna liczba plam słonecznych jest niewystarczającą miarą słonecznej aktywności. W związku z powyższym Minnis w 1955 r. wprowadził inny wskaźnik - J_{F2} , uzależniony bezpośrednio od stanu warstwy F2. Wykazał, że dla określonej stacji, określonego miesiąca i pory dnia, F2 i M /D/ dla danej warstwy i odległości mogą być wyznaczone za pomocą następujących równań liniowych

$$F2 = a + b \sqrt{J_{F2}}$$

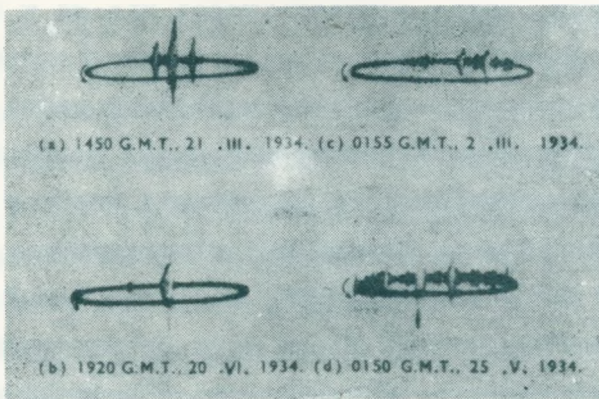
$$M / D / F2 = c + d \sqrt{J_{F2}}$$

gdzie a , b , c i d stałe dla danej stacji i pory i mogą być naniesione na światowych mapach konturowych. Umiejąc przewidzieć wartość J_{F2} można wyznaczyć podstawowe parametry $F2$ za pomocą wskaźnika $\sqrt{J_{F2}}$ i za pomocą liczby plam. W przeciętnych warunkach, błąd wynikający z nieścisłej korelacji, w pierwszym przypadku wynosił 4%, a w drugim przypadku 6%. Po uwzględnieniu błędu ze względu na rozrzut dobowy wielkości te wynosiły odpowiednio 6% i 9%. Należy tu zauważyć, że wymieniona w pktcie 2 wartość błędu prognozowania $F2$ - 15% zawierała w sobie błąd wynikający z interpolacji map jonosferycznych. Metoda Minnisa nie posługuje się mapami jonosferycznymi i dlatego łatwo do niej zastosować maszynową technikę obliczeniową, co z kolei pozwala wyznaczać MUF dla wszystkich możliwych rodzajów propagacji. Do prognozowania wskaźnika $\sqrt{J_{F2}}$ wystarczają, w zasadzie, dane tylko trzech stacji odpowiednio rozmieszczonych na Ziemi.

2.2. Wyznaczanie rodzaju propagacji

Elementarna koncepcja, że fala przebywa duże odległości za pomocą kilku równych skoków między ziemią i jonosferą, jest znacznym uproszczeniem zjawiska. Wskazują na to pomiary sygnałów impulsowych przychodzących od odległych stacji. Przykładem komplikacji, jakie mogą następować w tych warunkach, są zapisy przedstawione na

rys, 1. Odpowiadają one odbiorowi w Slough sygnałów z New Jersey na transatlantyckim łączu radiotelefonicznym.



Rys. 1. Zapis sygnałów impulsowych odebranych z Lawrenceville N.J.

Rysunek 1a przedstawia na eliptycznej podstawie czasu o całkowitym okresie $16 \frac{2}{3}$ msek, echa typowe dla transmisji na trasie New York - Londyn w okresie równonocy 1934 r. na 14 MHz. Trzy główne echa, licząc z prawa na lewo, są dwu, trzy i czterokrotnym odbiciem od warstwy F2, przy czym należy zauważyć, że jest tam też szereg słabszych ech. Rysunek 1b przedstawia zapis uzyskany na tej samej częstotliwości w czerwcu. Widać na nim w głównej grupie trzy ściśle przylegające echa oraz jedno oddalone od nich, słabe echo. Najsilniejsze z ech głównej grupy jest najprawdopodobniej rezultatem trzykrotnego odbicia od warstwy F2, identyfikacja pozostałych nie została dokonana. Przykład odbioru na 5 MHz podano na rys. 1c, jest on typowy dla warunków nocnych. Pierwsze

echo jest wynikiem wielokrotnego odbicia od warstwy F2, drugie zaś słabsze nie jest zidentyfikowane. Rysunek 1d wskazuje echa zajmujące całą podstawę czasu; pomiar ten wykonano, gdy wartość foF2 w Slough przekroczyła częstotliwość sygnału. Takie częstotliwości nie są w rozpatrywanym czasie używane w komunikacji transatlantyckiej ze względu na występujące zjawisko wielodrogowości.

Ze względu na skomplikowany charakter rozkładu jonizacji nad powierzchnią ziemi stosowanie analizy matematycznej do wyznaczenia trasy jest nieprzydatne. Przy wprowadzeniu pewnych uproszczeń, Kift opracował w 1960r metodę wyznaczania trasy, która daje dobrą zgodność z doświadczeniem. Metoda ta uwzględnia częstotliwości krytyczne i zmiany wysokości jonosfery wzdłuż całej trasy. Dla ominięcia trudności wynikających z istnienia poziomego gradientu tych parametrów /nachylenie warstw/, Kift założył, że warstwy w miejscu odbicia sygnału są poziome. Założył również, że pionowy gradient jonizacji jest paraboliczny i zastosował teorię Appletona-Beynona do wyznaczenia kąta padania głównej wiązki fal na warstwę położoną poziomo. Metoda ta wymaga rozwiązania równania Appletona - Beynona za pomocą maszyny matematycznej dla różnych wysokości maksimum jonizacji, grubości warstwy i współczynnika równego stosunkowi częstotliwości krytycznej do częstotliwości sygnału.

Za pomocą tej metody możliwe jest określenie dla danej częstotliwości sygnału i danej odległości, wszystkich możliwych dróg przyścia sygnału, kątów elewacji oraz czasów przejścia przez sygnał całej trasy od nadaj-

nika do odbiornika. Może być również wyznaczony MUF dla każdej chwili i odległości i dla odpowiedniego rodzaju propagacji. Była o tym już mowa w rozdz. 2.1.

2.3. Udział w transmisji warstwy E sporadycznej

W ostatnich latach ustalono, że warstwa Es może zwiększać MUF łączy powyżej wartości odpowiadających warstwom E, F1 i F2. Ma to miejsce zwłaszcza w lecie. Danych doświadczalnych o wpływie warstwy Es dostarczyli Shearman oraz Wilkins i Kift w latach 1956 i 57. Wiadomo jest obecnie, że warstwa Es w średnich szerokościach jest zbudowana w postaci obłoków o rozmiarach do kilkuset kilometrów i, że większość z obłoków ma ustabilizowany kształt. Mechanizm powstawania tej warstwy nie jest dotychczas wystarczająco wyjaśniony, a zatem i przewidywanie powstawania jej natrafia duże trudności. Pewną poprawę w tym względzie przyniosły wyniki badań w czasie MRG^{1/}.

Najbardziej regularną i możliwą do prognozowania jest warstwa Es leżąca w obszarze równika magnetycznego i rozciągająca się od niego na $\pm 15^{\circ}$ szerokości geograficznej. Jej wpływ na radiokomunikację transrównikową jest duży.

2.4. Prognozy LUF

Przewidywanie najmniejszej częstotliwości użytecznej /LUF/ łączy jest również ważne dla prac związanych z

^{1/} Międzynarodowy Rok Geofizyczny.

rozdziałem częstotliwości. Dokładność prognozowania w tym zakresie jest na razie mniejsza niż w zakresie MUF ze względu na mniejszą znajomość czynników rządzących tym parametrem. Istniejąca metoda opiera się na obliczaniu natężenia pola w miejscu odbioru, wytworzonego przez nadajnik o wiadomych danych. Zazwyczaj istnieje jedna częstotliwość LUF, przy której natężenie pola staje się wystarczające dla uzyskania potrzebnego stosunku sygnału do szumów. Natężenie to, abstrahując od mocy nadajnika i zysku anteny, zależy głównie od tłumienia sygnału podczas jego drogi w jonosferze. Największą część tłumienia doznaje sygnał w warstwie D /tłumienie niedewiacyjne/, pozostała część przypada na obszar, gdzie następuje odbicie /tłumienie dewiacyjne/.

Rutynowa metoda wyznaczania LUF oparta jest na światowych mapach podających przebieg tłumienia, jako pewną funkcję zenitalnego kąta słońca. Mapy te zostały sporządzone w okresie gdy wiedza o światowym rozkładzie tłumienia była bardzo ograniczona. Z tego względu pożądana jest ich rewizja w świetle nowych badań, a zwłaszcza badań przeprowadzonych podczas MRG. Piggot, w 1959 r. stosując najnowsze wyniki badań, opracował metodę obliczania natężeń pól dla radiokomunikacji w obszarach tropikalnych. Metoda ta może być użyta również do obliczania LUF, jednak wymaga wtedy dużego zwiększenia nakładu pracy.

Stosowane przy wyznaczaniu LUF światowe mapy zakłóceń były sporządzone na podstawie pomiarów R.R.S. oraz

N.B.S.^{1/}, a wydane przez Międzynarodową Unię Telekomunikacyjną. Niewielkie zmiany tych map nastąpiły w rezultacie obserwacji poczynionych podczas MRG.

Ogólnie biorąc, powiększenie dokładności obliczania LUF pociąga za sobą szybki wzrost pracochłonności i dlatego w zagadnieniu tym daje się zauważyć obszerne pole do stosowania maszynowej techniki rachunkowej.

3. ZABURZENIE RADIKOMUNIKACJI

W poprzednich rozdziałach omówiono metody prognozowania MUF i LUF dla jonosfery niezaburzonej. Stosowano w tym celu średnie wartości parametrów jonosferycznych, właściwych dla rozpatrywanych okresów, zwykle dla jednego miesiąca. Szereg czynników powoduje znaczne odchylenie tych wartości, a zatem i skuteczności prognoz. Najważniejsze z nich to burze jonosferyczne.

3.1. Burze jonosferyczne

Podczas zaburzeń jonosferycznych MUF może maleć a LUF wzrastać w takiej mierze, że użyteczny zakres częstotliwości ulegnie zupełnemu zdławieniu. Ta wrażliwość na burze jonosferyczne jest zapewne najpoważniejszym mankamentem radiokomunikacji krótkofalowej. Podczas poszczególnych burz może następować zaburzenie radiokomunikacji na całym obszarze Ziemi, jednak zazwyczaj obszar ten ogranicza się do dużych szerokości geograficz-

^{1/}National Bureau of Standards, USA.

nych. Dotychczas, nie są znane inne metody zabezpieczenia łącz przed tego rodzaju wpływem jak stosowanie retransmisji poprzez trasę leżącą poza zasięgiem zaburzenia.

Przykładem zakresu tego wpływu jest bardzo ważna trasa radiokomunikacyjna W. Brytania - Ameryka Płn. Ustalono, że łącze to ulega najczęstszym przerwom w okresie najmniejszej liczby plam słonecznych i że przerwy te zwłaszcza w miesiącach zimowych dla radiotelefonii mogą dochodzić do 50% użytecznego czasu pracy na trasie Montreal - Londyn oraz do 40% na trasie N. York - Londyn. Przy stosowaniu retransmisji poprzez Barbados straty te maleją do połowy. Powyższe względy spowodowały, iż zwrócono uwagę na możliwość przewidywania początku burz jonosferycznych.

Dokładne opracowanie metodyki takiego prognozowania umożliwiłoby odpowiedni rozkład pracy łącza taki, aby najważniejsze wiadomości były przesyłane przed początkiem burzy, a jednocześnie byłaby przygotowywana trasa retransmisyjna. Prognozowanie napotyka jednak trudności, ponieważ zjawiska na słońcu, które są źródłem burz jonosferycznych, są również trudne do przewidzenia. Nagłe burze są wynikiem emisji cząsteczek podczas rozbłysków słonecznych. Towarzyszące ultrafioletowe promieniowanie wywołuje nagłe zakłócenie stanu jonosfery i wyprzedza na około 30 godzin początek burzy. Zwiększona aktywność słońca nie zawsze musi wywołać burzę; cząstki emitowane mogą nie dosięgnąć ziemskiej jonosfery. Burze, które często występują podczas minimum plam słonecznych i które

mają 27-dniowy okres powtarzania się, są wywołane przez cząstki emitowane z pewnych obszarów słońca, znanych pod nazwą obszarów M, optycznie nierozpoznawalnych. Mechanizm ich tworzenia się nie jest na razie wyjaśniony. Tak więc, z chwilą rozpoczęcia się burzy, możliwe jest przewidzenie następnych burz tej samej serii. Możliwe jest także określenie bądź początku, bądź końca serii burz. Wydaje się mało prawdopodobne, aby przy dzisiejszym stanie wiedzy o słońcu były możliwe długoterminowe ostrzeżenia dotyczące burz. Istnieje natomiast obecnie i spełnia swe zadanie krótkoterminowa służba ostrzegawcza. Objęty nią jest obszar płn. Atlantyku i płn. Pacyfiku.

3.2. Praca łącz w obszarze równikowym

Od dawna stwierdzono, iż krótkofalowe łącza transrównikowe ulegają przerwie w godzinach zachodu słońca i że zjawisko to jest najsilniejsze w okresie równonocy i minimum plam słonecznych. Zjawisko to było badane ilościowo na trasach między W. Brytanią i Colombo oraz W. Brytanią i Singapore. Występuje ono także bardzo silnie na łączu z W. Brytanii do Afryki i czyni odbiór radiofoniczny na wszystkich zakresach częstotliwości ledwo słyszalny, odbiór zaś radiotelegraficzny - bądź zniekształcony, bądź w ogóle niemożliwy. W 1952 r. wykazano związek pomiędzy powyższym zjawiskiem a zjawiskiem rozpadu warstwy F2 na poszczególne obłoki w czasie zachodu słońca obserwowanym w Singapore. Obecnie istnieją jednak poważne dane za tym, iż taka przebudowa warstwy F2 jest tylko jed-

ną z przyczyn przerwy łączności. W R.R.S. ustalono w ostatnich latach, że istnieją też inne czynniki.

Ciągły zapis podczas 1958 r. sygnału telegraficznej stacji w Nairobi, pracującej na częstotliwości 23 MHz, wykazał, że pewne pogorszenie łączności podczas zachodu słońca ma zawsze miejsce i że średnio opóźnienie między początkiem zjawiska a maksymalnym pogorszeniem odbioru wynosi około 25 min. Chwila rozpoczęcia zaniku jest możliwa do przewidzenia z dokładnością do około \pm 30 min. Nie daje się tu zauważyć sezonowej regularności, jakiej należałoby się spodziewać, jeśliby chwila powstania warstwy jonosferycznej była czynnikiem głównym opisanego zjawiska. W konsekwencji, potwierdza się przypuszczenie, iż decydującym czynnikiem jest tu destrukcja warstwy F2, przejście jej do struktury obłokowej takiej jak równikowa Es. Obłoki powodują rozproszenie padającej na nie energii i wywołują zanik trzepoczący odbieranego sygnału. Podobnie, następuje osłabienie sygnału w wyniku rozproszenia, jeśli główny rodzaj propagacji jest rezultatem odbicia od równikowej warstwy Es.

Dalsze obserwacje dotyczące równikowej warstwy Es prowadzono przez B.B.C. na Dalekim Wschodzie. Stwierdzono, że osłabienie sygnału i rozproszenie w czasie zachodu słońca jest wystarczające aby uczynić program radiofoniczny niezrozumiały. W danym czasie istniały warunki odbicia jedynie od warstwy E. Obserwacje tam przeprowadzone, ale na trasach nie przecinających równikowego obszaru Es, nie wykazały zjawiska związanego z zachodem słońca.

4. PROJEKTOWANIE ANTEN W RADIOKOMUNIKACJI KRÓTKOFALOWEJ

Zastosowanie anten kierunkowych w radiokomunikacji krótkofalowej jest ważne nie tylko ze względu na zysk energetyczny, lecz także ze względu na zmniejszenie interferencji stacji pracujących na zbliżonych lub w przypadku stacji odległych na tych samych częstotliwościach.

Należy pamiętać również o ograniczeniach w tej dziedzinie. Wymienić tu trzeba względy ekonomiczne, wynikające z dużej powierzchni, jakiej wymagają anteny o dużej kierunkowości, oraz względy techniczne. Te ostatnie ograniczają zwężanie charakterystyk anten odbiorczych do takich wielkości, aby nadchodzący pod fluktuującym kątem sygnał zawsze znajdował się w jej polu. Anteny z bardzo wąską charakterystyką kierunkową są szczególnie niepożądane tam, gdzie istnieje możliwość bocznego odchylenia drogi sygnału od ortodromy, czyli gdzie istnieje możliwość transmisji pozaortodromowej.

W celu uzyskania maksymalnej sprawności łącza, a w szczególności uzyskania silnego sygnału w stosunku do interferencji, należy dostosować charakterystykę anteny do warunków propagacji, tak jak to zaproponował Hitchcock w r. 1957. Główny listek charakterystyki anteny powinien obejmować główną część przychodzącej energii sygnału pożądanego. Wymagania takie spełnia antena MUSA, lecz wysoki koszt i brak możliwości sterowania charakterystyką w kierunku azymutalnym przeszkadza szerszemu jej rozpowszechnieniu. Lepsze są anteny systemu MEDUSA oraz Morris-

- Mitchella; pozwalają one na sterowanie charakterystyką w płaszczyźnie azymutalnej i w płaszczyźnie elewacji. Pozwalają również na jednoczesny odbiór kilku stacji i dzięki tym zaletom stanowią ważne urządzenie odbiorcze.

W przypadku stosowania anten niesterowanych, ich konstrukcja musi być oparta na ścisłym obliczeniu kąta elewacji głównego rodzaju propagacji i jego zmienności w czasie. Kąty te mogą być wyznaczone, opisaną wyżej metodą Kifta lub też mogą być znalezione eksperymentalnie. Wiele informacji o kątach elewacji uzyskano w R.R.S. podczas badań nad rodzajami propagacji krótkofalowej.

Pomiary powyższe ujawniły wielki udział w propagacji na duże odległości energii padającej pod małymi kątami elewacji. Podczas pomiarów, dokonywanych w godzinach dziennych, sygnałów przychodzących do W. Brytanii z południowo-wschodniej Azji znaleziono, iż najkorzystniejsze kąty elewacji jesienią i zimą na częstotliwości 16 do 18 MHz wynoszą około 7° , w lecie zaś około 5° . Odnosnie kątów nočných należy sądzić, iż są one podobne; istnieje na to uzasadnienie teoretyczne. Stosowanie anten o małym kącie elewacji zmniejsza zjawisko sygnałów wielodrożnych i pozwala na pracę szybkich systemów telegrafii. Ponieważ przy małych kątach padania zmniejsza się gęstość jonizacji potrzebnej do transmisji, w efekcie więc przedłuża się czas pracy na danej częstotliwości.

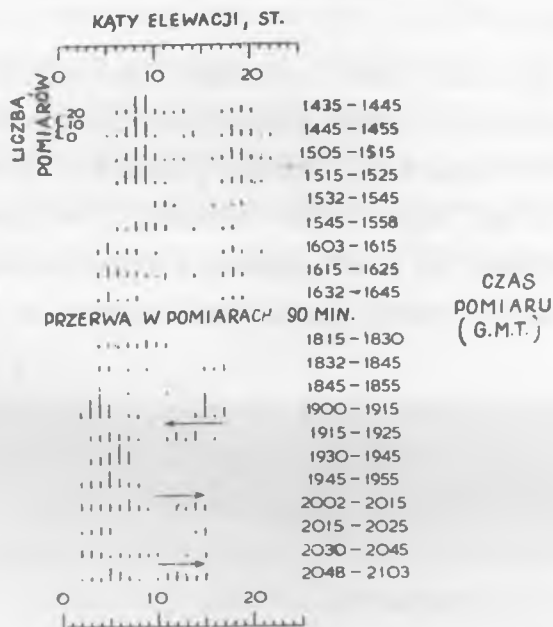
5. IDENTYFIKACJA RODZAJÓW PROPAGACJI

W R.R.S. stosowane są dwie zasadnicze metody identyfikacji rodzajów propagacji. Pierwsza polega na emisji

sygnałów impulsowych o stałej częstotliwości i na pomiarze kąta elewacji oraz czasu przejścia odbieranych sygnałów. Identyfikacja dla krótkich i średnich odległości nad obszarem, dla którego znane są parametry jonosfery, odbywa się tu bezpośrednio. Natomiast dla dużych odległości należy stosować takie postępowanie, jakie opisano w rozdz. 2.2. Kąt elewacji mierzy się przez porównanie amplitud sygnałów indukowanych w dwóch antenach poziomych ustawionych nad sobą albo przez pomiar różnicy faz między dwoma sygnałami indukowanymi w antenach rozmieszczonych poziomo.

Przykład pomiarów tego typu podano na rys. 2. Dla sygnałów impulsowych odbieranych w Slough z Ascension Island na około 20 MHz. Rysunek ten podaje także rodzaje propagacji obliczone metodą Kifta w oparciu o wartości częstotliwości krytycznych i wysokości warstw jonosferycznych wzdłuż trasy. Wartości te były kontrolowane w Slough, Poitiers, Casablance i Dakarze. Należy zauważyć, że wszystkie rodzaje są złożone, z wyjątkiem jednego skoku F2 i dwóch skoków Es odbieranych na różnych odległościach od punktu nadawczego. Zmierzone wartości kątów elewacji i czasów przejścia sygnału są w dużym stopniu zgodne z obliczeniem.

Przykład pomiarów kątów elewacji na stacji radiotelegraficznej, wykonanych dla celów projektowania anten, podano na rys. 3. Pomiaru wykonywano w rytmie dziesięciominutowym. Dla każdego przedziału kąta elewacji dokonano pomiaru natężenia przychodzącego sygnału. Tak więc



Rys. 3. Kąty elewacji. Bombay, 18, 420 MHz, 7.10.56
 między 1435 i 1445 GMT^{1/} widoczne są dwa główne echa od-
 powiadające kątom $8,5^{\circ}$ i 19° , z których pierwsze echo
 jest silniejsze. Strzałki wskazują, że kąty pod nimi mia-
 ły tendencję do zmian w ich kierunkach.

Drugą metodą identyfikacji rodzajów propagacji stosowa-
 ną w R.R.S. jest metoda omiotowa. Polega ona na emitowa-
 niu sygnału impulsowego o częstotliwości zmiennej w
 sposób ciągły w szerokim zakresie i na jego odbiorze
 przez samoczynnie dostrajający się odbiornik. Zapis re-
 jestruje czas przejścia sygnału w funkcji częstotliwości.

^{1/} Czas Greenwich.

Metoda ta jest stosowana w Niemczech, Kanadzie i USA z W. Brytanią.

Podobna metoda, lecz z ręcznym dostrajaniem odbiornika, była stosowana przed dziesięciu laty przez Beynona dla pomiarów transmisji między Szkocją i Slough na odległości 715 km. Badania te wykazały, że uzyskana wartość MUF warstwy F2 jest zgodna z obliczeniami dokonany- mi na podstawie teorii Appletona-Beynona z dokładnością do 4%.

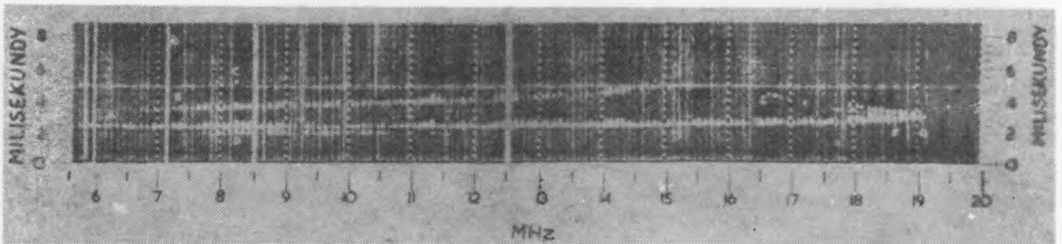
Urządzenia automatyczne pozwalają na pomiary tego rodzaju na odległościach do 2400 km. Wyniki pomiarów były w niektórych przypadkach porównywane z obliczeniami oparty- mi na danych pionowego sondowania jonosfery na okre- ślonej trasie; stwierdzono dużą zgodność.

Podczas trwania MRG pomiary tą metodą były wykonywane między Ottawą i Slough /3500 km/. Wyniki ich potwierdza- ją możliwość transmisji za pośrednictwem jednego skoku. Wniosek ten jest w zgodzie z obliczeniami opartymi na teorii Appletona-Beynona.

5.1. Metoda omiotowa stosowana w R.R.S.

Urządzenie stosowane w R.R.S. emituje sygnał impulso- wy o częstotliwości zmienianej skokowo co 10 kHz w za- kresie 5,5 MHz do 45 MHz. Synchronizacja odbiornika i na- dajnika odbywa się za pośrednictwem zegara kwarcowego. Dokładność jego pozwala na utrzymanie synchronizacji w ciągu wielu dni pracy bez regulacji. Odbiornik rozpoczy- na działanie z chwilą otrzymania z nadajnika określonego sygnału o stałej częstotliwości.

Próby dokonywano między Slough a Inverness /704 km/; typowy zapis przedstawiono na rys. 4. Dokonano porównania charakterystyk propagacji otrzymanych tą drogą z uzyskanymi drogą obliczeń na podstawie teorii Appletona-Beynona i pomiarów pionowego sondowania w końcowych punktach trasy. Uzyskano dużą zgodność; w szczególności MUF dla transmisji poprzez warstwę F2 różnił się o 3%.



Rys. 4. Jonogram sondowania ukośnego z Inverness do Slough

Dalsze próby prowadzono między Slough i Malta /2100 km/. Wyniki pomiarów dla zimy i lata ilustruje rys. 5. Wyznaczone wartości MUF dla kilku rodzajów propagacji pozostawały zgodne z obliczeniami teoretycznymi, do których z kolei użyto danych pionowego sondowania w Genui, Rzymie i Schwarzenburgu /Szwajcaria/. Różnice nie przekraczały 3%.

Obecnie powyższe urządzenie pracuje na trasie Slough - Ascension Island /6800 km/, dla której jak wykazano w rozdz. 5, w dzień, charakter propagacji jest złożony.

Metoda omiotowa stosowana do identyfikacji rodzajów propagacji umożliwia bezpośredni pomiar MUF i LUF, a następnie porównanie tych parametrów z ich prognozami. Me-

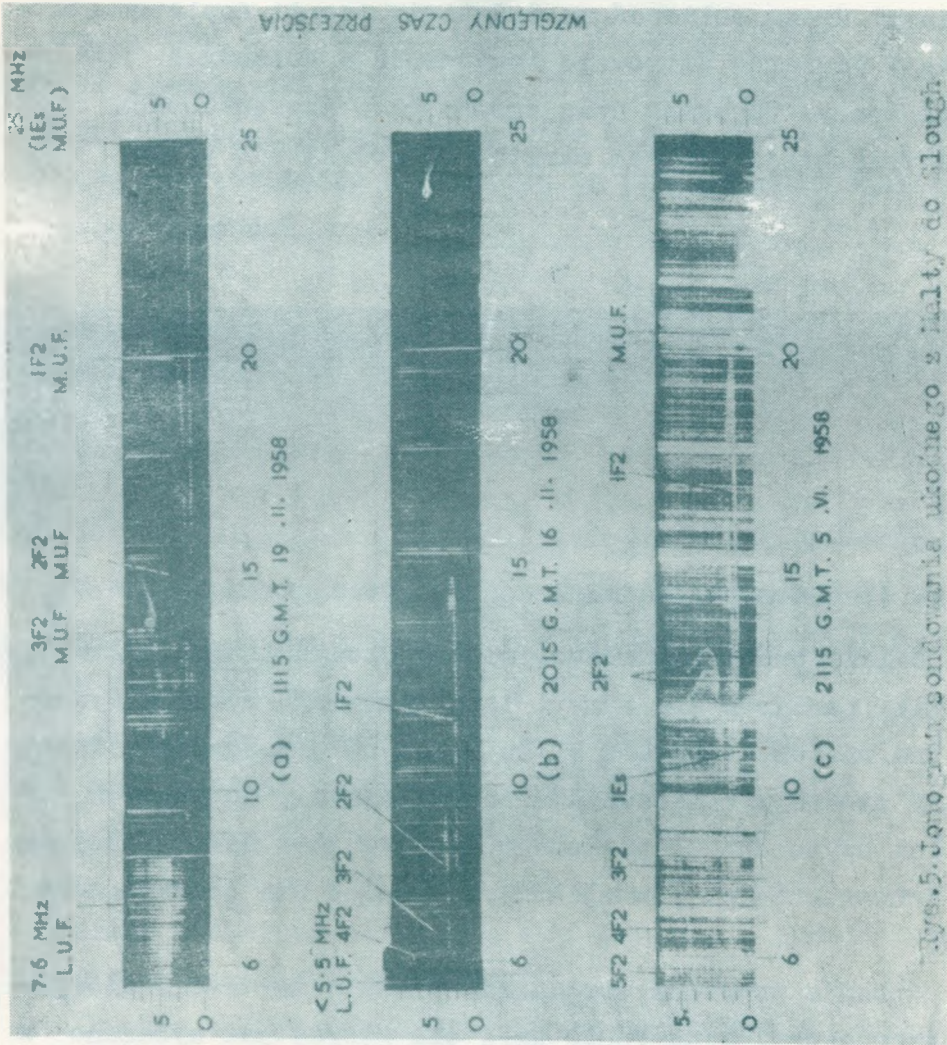


Fig. 5. Jono gram sondowania ukłódowego z Malty do Slough.

toda ta wskazuje również stabilne rodzaje propagacji, na podstawie znajomości których można projektować urządzenia antenowe nadawcze i odbiorcze o maksymalnej sprawności. Poza tym, metoda pozwala wyznaczyć czasy przejścia sygnału dla poszczególnych rodzajów propagacji i częstotliwości pracy. Można stąd wybrać najbardziej właściwą częstotliwość ze względu na zmniejszenie zjawiska wielodrogowości.

6. ODCIĄCZENIE KIERUNKU PRZECHODZENIA SYGNAŁU

W opisanych powyżej metodach przewidywania MUF zakładano, że fala biegnie między nadajnikiem i odbiornikiem ściśle wzdłuż ortodromy. Doświadczenie wykazało, że dla częstotliwości pracy poniżej MUF założenie takie jest słuszne. Dla właściwego szacowania trafności prognoz należy jednak znać udział zaników wywołanych odbiorem pozaortodromowym.

Wiadomo że odchylenie od propagacji ortodromowej może być wywołane przez burze jonosferyczne. Należy zanotować dla przykładu, że podczas umiarkowanej burzy nad płn, Atlantykiem sygnały nadawane z W. Brytanii były odbierane w Ameryce Północnej z kierunku południowego względem normalnej ortodromy.

Boczne odchylenia sygnału były rejestrowane również w Japonii dla sygnałów przychodzących z Europy w czasie jonosferycznie spokojnym. Ustalono, że propagacja ortodromowa ma miejsce, gdy MUF trasy przewyższa częstotliwość sygnału. W przeciwnym razie ma miejsce propagacja

pozaortodromowa z odchyleniem do 140° . Odchylenie to jest spowodowane rozproszeniem fali od ziemi na południu od normalnej ortodromy.

Podobne pomiary były dokonywane w R.R.S. z użyciem sygnałów z Japonii. Znalezione, iż po ustąpieniu zaniku kierunku przychodzącego sygnału okazał się zmieniony w stosunku do ortodromy o około 60° . Stan taki ustalał się na okres około 1/2 do 1 godziny, po czym kierunek przychodzenia zwiększał swe odchylenie do 110° .

Powyższe zjawisko południowych odchyżeń może być wytłumaczone następująco. Łączność ortodromowa ulega zerwaniu na skutek niewystarczającej gęstości jonizacji na trasie w pobliżu Japonii. Jednocześnie istnieją wystarczające warunki dla zapewnienia łączności w kierunku południowym od Japonii. Fala jest ogniskowana na ziemi, na brzegu strefy martwej. Ogniskowanie takie następuje także po dwóch, trzech i po większej ilości odbić. Odbicie rozproszone od ziemi przy pierwszej strefie ogniskowania, ze względu na mniejszą odległość od nadajnika, jest silniejsze niż odbicie od stref następnych. Tak więc sygnał od pierwszej strefy jest odbierany z kierunku odchylonego o około 60° . Po upływie pewnego czasu sygnał ten traci warunki do transmisji ze względu na spadek gęstości jonizacji warstwy F2 na europejskiej części trasy. W konsekwencji stał się słyszalny słabszy sygnał z drugiej strefy z kierunku odchylonego o 110° . Sygnał ten po pewnym czasie również zanika z tych samych przyczyn co poprzedni. Rozproszenia od dalszych stref są już nieznaczalne.

Odchylenia w kierunku północnym były również notowane. Miały one miejsce późnym wieczorem, znacznie później po ukończeniu się zjawisk opisanych powyżej. Kierunek przychodzenia wahał się w granicach od 15° do 350° , sygnał był bardzo silny z towarzyszącym zanikiem trzepoczącym. Odbiór taki możliwy był dzięki odbiciom od strefy zorzowej.

7. METODA SONDOWANIA ZWROTNEGO

Zastosowanie metody sondowania zwrotnego dla badań propagacji krótkofalowej było opracowane przez Wilkinsa i Shearmana w 1957 roku. Należy się spodziewać, że metoda ta będzie miała coraz większe znaczenie w pracach nad usprawnieniem radiokomunikacji, dzięki możliwości ciągłej kontroli docierania sygnału do miejsca przeznaczenia. Metoda może mieć z tego względu szerokie zastosowanie w radiofonii krótkofalowej, gdzie trudno jest o bieżące informacje o jakości odbioru.

7.1. Zastosowanie sondowania zwrotnego dla potrzeb cywilnej służby lotniczej

W celu wypróbowania przydatności sondowania zwrotnego do wyznaczania optymalnej częstotliwości łącz ziemia-powietrze były przeprowadzone próby przy współpracy Brytyjskiego Min. Lotnictwa i B.O.A.C. na lotniczych trasach północnego Atlantyku. Nadajnik sygnałów impulsowych był ustawiony w Birdlip. Sygnały zwrotne były odbierane i wprowadzane na ekran lampy oscylograficznej z

liniową podstawą czasu, cechowaną w milach. Istniała możliwość szybkiego przestrajania nadajnika na szereg przydzielonych częstotliwości. Prób tych jeszcze nie ukończono, sądzi się jednak, że ich wyniki razem ze znajomością odległości do samolotu umożliwią określenie najwłaściwszej częstotliwości pracy. W rezultacie pozwoli to na polepszenie stosunku sygnału do szumu w tego rodzaju komunikacji. W łączności lotniczej można było zauważyć tendencję do obniżania częstotliwości pracy daleko poniżej MUF dla danej odległości, co stwarzało, oprócz niepotrzebnego pogorszenia jakości odbioru, nadmierne zagęszczenie częstotliwości w pewnych pasmach i wzajemne interferencje stacji.

7.2. Zastosowanie sondowania zwrotnego dla badania warstwy E sporadycznej

Jak już wspomniano, rodzaj propagacji dochodzącej do skutku za pośrednictwem warstwy Es jest trudny do określenia i dotychczas nie są znane metody prognozowania tego czynnika. Znaczną uwagę na powyższe zagadnienie zwrócono podczas Międzynarodowego Roku Geofizycznego. Na stacji R.R.S. badano wzrost i ruchy obłoków warstwy Es za pomocą sondowania zwrotnego. Analiza wyników ujawniła główne cechy dobowego, sezonowego i geograficznego rozkładu jonizacji w promieniu 3000 km od Slough. Zauważono skłonność warstwy Es do tworzenia się w godzinach przedpołudniowych z maksimum w lecie i w kierunku na południe od Slough. Jednocześnie określono prędkość ru-

chu obłoków na 200 do 300 km/godz oraz ich poziomy wymiar poprzeczny na 150 km.

8. WNIOSKI

Od kilku lat szerokość, eksploatowanego przez służby radiokomunikacyjne, pasma częstotliwości stale wzrasta. Sięga już zakresów fal ultrakrótkich i mikrofal. Ekspansja taka zmniejsza zagęszczenie w pasmach krótkofalowych, jednak ze względów ekonomicznych i politycznych jest ograniczona. Pod względem zasięgu ogranicza ją silne tłumienie doznawane przez sygnał o tak dużej częstotliwości.

W najbliższym dziesięcioleciu należy się spodziewać utworzenia ogólnosiwiatowej sieci radiokomunikacyjnej, wykorzystującej sztuczne satelity jako stacje przekaźnikowe lub też jako elementy odbijające. Przewiduje się też wykorzystanie w tym celu księżycy. Planuje się również znaczne rozszerzenie dalekosiężnej sieci kablowej, zwłaszcza podmorskiej.

Niezależnie od tych perspektyw, radiokomunikacja krótkofalowa na długo pozostanie podstawowym środkiem łączności na dużych odległościach, a naukowe badania jonosfery pozwolą na dalsze zwiększenie skuteczności jej działania.

621.391.81.029.6

NOWE PUNKTY WIDZENIA
NA TRANSOCEANICZNĄ PROPAGACJĘ FAL KRÓTKICH
W ODNIESIENIU DO RADIOKOMUNIKACJI^{1/}

H.J. Albrecht: Neue nachrichtentechnische Gesichtspunkte zur Überseeausbreitung im Kurzwellenbereich. Elektronische Rundschau 11/1961, s. 536-540.

Po zreferowaniu uzyskanych wyników pomiarowych, praca niniejsza podaje streszczenie nowych dla transoceanicznej łączności wyników długoletnich badań autora w tej dziedzinie ze szczególnym uwzględnieniem "szepczącej galerii". Doświadczalny dowód istnienia "szepczącej galerii" jest szczegółowo omawiany i dyskutowany.

1. WSTĘP

Za podstawę propagacji krótkofalowej transoceanicznej przyjęto odkrytą w latach dwudziestych przez E. Appletona i M.A. Barnetta propagację przez załamanie w jonosferze fal wysyłanych w kierunku punktu odbiorczego.

Dla dużych zasięgów dochodzi obok teorii tzw. fal ślizgowych, wg której fala ślizga się wzdłuż jonosfery, teoria odbić wielokrotnych. Dobrym streszczeniem prac badawczych w tej dziedzinie do 1951 r. jest dzieło S.K. Mi-try pt.: "The upper atmosphere".

^{1/} Na podstawie oryginału opracował S. Borowski.

Według teorii odbić wielokrotnych odcinki trasy, które są dłuższe od odcinków uskoku uwarunkowanych przy załamaniu lub odbiciu przez wysokość warstwy, są pokryte za pomocą odbić zygzakowatych pomiędzy warstwami jonosferycznymi a powierzchnią ziemi. Teoria ta została od kilku dziesiątków lat przyjęta przez podręczniki jako jedyna i utrzymała się w swej pierwotnej postaci aż do niedawna, do czasu dokładnych badań.

Podczas drugiej wojny światowej zaczęto sporządzać prognozy warunków propagacji fali od tego czasu prognozy te sporządzane są stale przez kilka ośrodków badawczych.

Dokładność prognoz wystarcza prawie we wszystkich przypadkach do określenia optymalnej częstotliwości roboczej /OWF, FOT/ dla danej trasy, jednakże przy określaniu prognoz maksymalnej częstotliwości użytecznej /MUF/, a szczególnie przy minimalnej częstotliwości użytkowej /LUF/ obserwuje się częściowo znaczne różnice w porównaniu do wartości mierzonych.

Autor zajmuje się mniej więcej od dziesięciu lat zagadnieniem gruntownego wyjaśnienia rzeczywistego przebiegu fal przy propagacji transoceanicznej pod względem teoretycznym i doświadczalnym; wyniki tych prac są podane w kilku publikacjach.

W związku z tą pracą autor zamierza podać wyniki doświadczeń ze względu na ważne konsekwencje dla radiokomunikacji.

2. POMIARY I WYKORZYSTANIE

2.1. Metody pomiarowe

Autor rozpoczął doświadczenia w latach 1951/1952 budową stacji pomiarowej w pobliżu Melbourne w Australii. Budowa i dane techniczne tej stacji łącznie z urządzeniem antenowym były opisane przed kilku laty.

W okresie od 1952 r. do lutego 1957 r. mierzono i obserwowano na trzech do pięciu charakterystycznych częstotliwościach w zakresie od 3 MHz do 30 MHz: natężenie sygnału, pewność transmisji, początek i koniec warunków propagacji we wszystkich częściach świata przy znanych kątach wypromieniowania fal.

Wyniki obserwacji czasu trwania warunków propagacyjnych były uzupełniane w obszarze 100° - 160° E i 0° - 67° S obserwacjami doświadczonych amatorów-krótkofalowców zaopatrzonych w dobry sprzęt.

2.2. Wykorzystanie

W celu zbadania prognoz propagacyjnych odpowiedniej służby australijskiej /Australian Prediction Service/ autor publikował co miesiąc dane dotyczące trafności tych prognoz co do początku i końca warunków propagacyjnych.

Otrzymywany materiał wykorzystywano do badań teoretycznych. Jak już wspomniano, badania te były skierowane głównie w celu wyjaśnienia przebiegu fal przy transmisjach na dużych odległościach i uzyskania bardziej

niezawodnych orientacyjnych danych dotyczących tłumienia trasy.

2.3. Warunki pomiarowe

Na szczególną uwagę zasługują, pod kątem wyeliminowania wpływów zakłócających, pomiary wykonywane w okresie najmniejszej aktywności słońca. Następnie do zmniejszenia przekłamań wyników, powodowanych wskutek jednoczesnego wpływu na propagację kilku warstw jonosferycznych, należało wybierać do pomiarów odpowiednią częstotliwość oraz godziny doby, w czasie których zarówno stacja nadawcza jak i odbiorcza znajdują się na nie oświetlonej półkuli ziemskiej.

Pomiary przeprowadzone w takich właśnie warunkach w okresie od listopada 1953 r. do grudnia 1954 r., na częstotliwościach od 3 MHz do około 7 MHz, należy uważać za szczególnie interesujące; wyniki tych pomiarów porównano z wynikami obliczeń.

3. TŁUMIENIE SYGNAŁÓW PRZY PROPAGACJI TRANSOCEANICZNEJ

3.1. Wartości pomierzone

Przytoczone tu interesujące wyniki pomiarowe odnoszą się do wartości tłumienia na trasach Melbourne - Europa Zachodnia /I/ i Melbourne - Ameryka Północna /II, III/. Amerykę Północną podzielono na siedem różnych obszarów, z których dwa były wykorzystywane do badań. Obszar prze-

mierzony /trasa II/ obejmuje stany: Connecticut, Delaware, District of Columbia, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, Pensylwania i Rhode Island. Ostatnia trasa propagacyjna /III/ prowadzi do Kalifornii.

W założeniu, że każdorazowo można określić jedną trasę propagacji pomiędzy Europą Zachodnią i dwoma obszarami amerykańskimi z jednej strony a Australią Wschodnią z drugiej strony, pomiary tłumienia dały interesujące dane tak względne, jak i absolutne. Ponieważ szczegóły tych pomiarów opublikowane zostały już gdzie indziej, podane tu zostaną tylko ich wyniki. Pomierzone średnie wartości tłumienia sygnałów wynoszą: na trasie I - 79,4dB, na trasie II - 79,0 dB i na trasie III - 76,5 dB.

3.2. Teoretyczny punkt widzenia

Dla wyjaśnienia podkreślamy, że w niniejszym artykule wyrażenie "tłumienie trasy" należy rozumieć jako osłabienie sygnału wskutek odległości; obejmuje ono więc wszystkie rodzaje tłumienia z wyjątkiem ewentualnego tłumienia powodowanego przez jonosferę, które jednak jest do pominięcia w warunkach wymienionych w rozdziale 2.3.

Z drugiej strony oznaczamy jako "tłumienie sygnału" całkowite tłumienie, to znaczy sumę tłumienia trasy i tłumienia powodowanego przez jonosferę.

Teoria odbić zygzakowatych pomiędzy warstwami jonosferycznymi a powierzchnią ziemi doprowadziła na przestrzeni wielu lat do rozmaitych wzorów na obliczanie tłumienia trasy. Wzory Försterlinga i Lassena pozwalają na obliczenia dokładniejsze, podczas gdy Narodowe Biuro Stan-

dardów U.S.A. /CRPL/ i H. Bremmer stosują wzory przybliżone. Te ostatnie mają za podstawę wyrażenie

$$\delta = \gamma \lg D, \quad /1/$$

gdzie δ - tłumienie trasy w dB,
 D - odległość w km,
 γ - stała, uwzględniająca również straty w ziemi.

Stała γ ma wartość 22,0 w przypadku metody CRPL, a 25,0 według H. Bremmera; teoretyczna wartość γ dla wolnej przestrzeni wynosi 2,0. Przez powiększenie tej wartości, zdaniem użytkowników, uwzględnia się dodatkowe straty przy odbiciach na powierzchni ziemi.

Na podstawie przeprowadzonych porównań okazuje się, że wszystkie wymienione metody dają wartości za duże, to znaczy, że rzeczywiście mierzone tłumienie jest mniejsze niż obliczone. To właśnie, między innymi, doprowadziło autora do opracowania nowej teorii rodzaju propagacji na długich trasach propagacyjnych /lata 1956, 1957, i 1959/^{1/}.

^{1/} Teoria propagacji typu "szepczącej galerii" w postaci skoków cięciwowych pod warstwą jonosferyczną F2 bez odbić pośrednich od ziemi, a w szczególności uderzający fakt, że przy tego rodzaju propagacji jonosfera jest zdolna, w tych samych warunkach jonizacji, odbijać częstotliwości aż do dwukrotnie większych niż przy pozostałych rodzajach propagacji, była referowana w Polsce przez prof. Stefana Manczarskiego i doc. Stefana Jasińskiego już w 1955 r. na konferen- /c.d. na str. 34/

Teoria ta będzie później szczegółowo omówiona, tu należy tylko wspomnieć, że wg tej teorii "szepczącej galerii" /chordal-hop theory, Sehnensprungtheorie/ promień odbija się od jonosfery po cięciwach nie dotykając w ogóle do powierzchni ziemi.

Przyjmując swoją teorię za podstawę, autor podał nowy przybliżony wzór na obliczenie tłumienia trasy pomiędzy dwoma punktami, a mianowicie

$$\delta \text{ [dB]} \approx 38,2 \sqrt{\lg D \text{ [km]}}, \quad /2/$$

gdzie

δ - oznacza tłumienie trasy,

D - odległość, jak w równaniu /1/.

Jako podstawę do tego wzoru przyjmuje się wiązkę sygnału bez strat wskutek zetknięcia z ziemią pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem. Ponieważ przy tego rodzaju propagacji /"szepcząca galeria"/ fala w ogóle nie dotyka powierzchni ziemi i parametry powierzchni ziemi na trasie propagacji nie wchodzi do obliczeń, odpada poważny czynnik niedokładności, tak że wydaje się, iż rów-

cji naukowej w Ciechocinku /Wyd. Instytutu Łączności nr D-36-345/46-416/.

W 1956 roku praca ta była referowana na VIII Zgromadzeniu Ogólnym CCIR w Warszawie, dokument nr 301. /S. Jasiński, S. Manczarski. Prace Instytutu Łączności t. 3, nr 2, 1956, s. 52-68/. "Badanie prawdopodobieństwa odbioru krótkofalowych radiostacji dalekodystansowych dla częstotliwości poniżej mediany LUF i powyżej mediany MUF". /przyp. tłum./

nanie /2/ z wystarczającą dokładnością odpowiada warunkom rzeczywistym.

Tablica 1 daje przegląd wartości tłumienia trasy mierzonych i obliczonych na podstawie różnych wzorów.

T a b l i c a 1

Pomierzone i obliczone wartości tłumienia trasy

Trasa propagacji	Średnia odległość /km/	Tłumienie trasy /dB/				
		Mierzone	Obliczone			
			wg Förster-Linga i Lassena	wg Bremmera	wg CRPL	wg Albrechta
I	16800	79,4	93,0	105,8	92,8	78,6
II	16600	79,0	90,0	105,8	92,8	78,5
III	12800	76,5	83,6	102,7	90,5	77,5

Z tablicy tej wynika, że wartościom pomierzonym najlepiej odpowiadają wyniki obliczeń wg metody autora.

3.3. Dyskusja wyników

Praktyczne znaczenie dla łączności transoceanicznej osiąga równanie /2/ przy obliczaniu najmniejszej częstotliwości użytkowej /LUF/ dla danej trasy propagacji i przy badaniach spodziewanego natężenia pola, jeżeli używana częstotliwość i trasa propagacji wykluczają inne wpływy na tłumienie sygnału /rozdział 2,3./.

Przy zastosowaniu równania bilansu sygnału pomiędzy energią emitowaną przy określonej częstotliwości, ewen-

tualnie istniejącym tłumieniu sygnału w jonosferze i /zależnie od metody obliczeń LUF/ minimalną wartością natężenia pola, określoną przez miejscowy stopień zakłóceń, nowy wzór daje wartości mniejsze niż wartości obliczone za pomocą dotychczasowych metod. Ponadto należy zauważyć, że przytoczone przez autora w innej pracy pomiary sprawdzające pewność prognoz LUF dają również często mniejsze wartości. Można to uważać za dalsze potwierdzenie teorii autora. Wreszcie równanie /2/ daje, w przypadku określenia minimalnej mocy nadajnika dla trasy propagacji odpowiadającej wyżej wymienionym warunkom, dokładniejszą wartość na tłumienie trasy.

4. DROGA FALI PRZY PROPAGACJI TRANSOCEANICZNEJ

4.1. Teoria propagacji zygnakowej i jej braki

Jak już stwierdzono na wstępie, fala powinna wg tej teorii rozchodzić się przez odbicie zygnakowe pomiędzy warstwami jonosferycznymi a powierzchnią ziemi. Całkowite tłumienie fali byłoby zależne nie tylko od wpływu jonosfery, lecz także przede wszystkim od zdolności odbijania się od powierzchni ziemi.

Dodatkowo teoria ta wymaga, by na trasach propagacji o różnych długościach, ale pod innym względem identycznych wysyłane sygnały podlegały różnemu tłumieniu w zależności od liczby odbić od powierzchni ziemi, jeżeli sygnały na krótszej trasie propagacyjnej mają swe źródło w obszarach dłuższej trasy.

Tak na przykład dla sygnału nadawanego w Londynie tłumienie trasy mierzone w Melbourne powinno być większe niż tłumienie sygnału wysyłanego przez obszary leżące pomiędzy **tyimi** miastami.

Badania autora wykazały między innymi, że tłumienia trasy przy propagacji transoceanicznej są niezależne od właściwości gruntu na trasie propagacji; tłumienie to wydaje się być zależne jedynie od długości trasy.

Dalej badania potwierdziły już dawniej zaobserwowany w radiokomunikacji transoceanicznej fakt, że korzystnym warunkom propagacyjnym pomiędzy dwoma bardzo odległymi miejscowościami odpowiadają często niekorzystne warunki dla propagacji sygnałów za pomocą przypuszczalnych odbić zygzakowych pomiędzy jonosferą a ziemią.

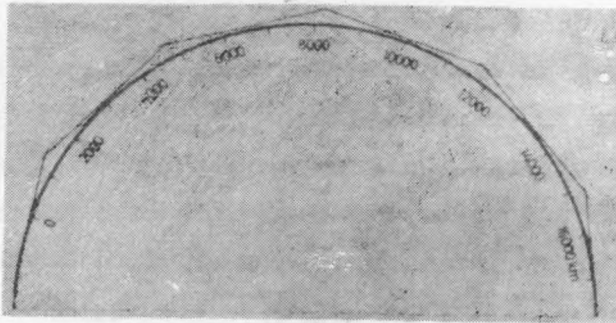
Powyższe wyniki nie dają się pogodzić z teorią odbić zygzakowych.

4.2. Propagacja za pomocą "szepczącej galerii"

Wyniki opisanych badań propagacyjnych, /rozd. 3.2 i 4.1/ wymagały wyjaśnienia prawdziwych przebiegów w ramach nowej teorii propagacji transoceanicznej. Na podstawie obliczeń teoretycznych autor podał teorię "szepczącej galerii" oraz wykazał słuszność hipotezy za pomocą kilku metod niezależnych od siebie.

Propagacja typu "szepczącej galerii" dochodzi do skutku wtedy, gdy promień fali w postaci cięciwy biegnie wzdłuż jonosfery. Droga fali tworzy wówczas wielopok wpisany w koło utworzone przez warstwy jonosfery; promień tego koła jest większy od promienia kuli ziemskiej.

Fala w ogóle nie dotyka powierzchni ziemi pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem, ponieważ minimalna wysokość promienia fali jest większa od zera w odniesieniu do powierzchni ziemi. Rysunek 1 przedstawia prawdopodobny przebieg fali przy propagacji typu "szepczącej galerii".



Przewidywany bieg promieni przy propagacji
ciężkowej

4.3. Dowody teorii propagacji typu "szepczącej galerii"

4.3.1. Metoda geometryczna

Autor wykorzystywał tzw. "wykresy trasy", aby przedstawić dla okresów pomiarów /rozd. 2/ typowe dane jonosferyczne na chwilowych trasach propagacji wzdłuż wielkich kół. Podstawę takiego wykresu trasy stanowi teoretyczne obliczenie stanu jonosfery podobnie jak przy prognozach jonosferycznych; prognozy te są sprawdzane i uzupełniane przez pomiary poszczególnych stacji w pobliżu tras propagacji.

Powyższe wykresy trasy wyraźnie potwierdzają założenie autora, że przy propagacji transoceanicznej pierwsze odbicie od jonosfery ma często miejsce w obszarze gradientu wysokościowego warstwy jonosferycznej, to znaczy, że wysokość jonosfery w odniesieniu do powierzchni ziemi w tym obszarze nie może być uważana za stałą, lecz wykazuje dodatni gradient w odniesieniu do trasy propagacji. Wtedy promień fali, trafiający pod pewnym kątem, może tworzyć taki kąt z warstwą jonosferyczną, który jest wprawdzie identyczny jak kąt padania fali, lecz wskutek nachylenia warstwy jonosferycznej wywołuje odpromieniowanie bardziej płaskie w stosunku do powierzchni ziemi. W obszarze ostatniego zetknięcia promienia fali z jonosferą wektory trasy znów wykazują gradient, w tym przypadku ujemny w odniesieniu do trasy propagacji. Przez to można wyjaśnić załamanie promienia w kierunku punktu odbioru. Następnie podobne zjawisko może być spowodowane wskutek zmiany poziomego rozkładu gęstości elektronów wewnątrz warstwy jonosferycznej, jeżeli częstotliwość robocza i charakterystyka jonosfery spełniają odpowiednie warunki w obszarze zetknięcia się fali z jonosferą.

4.3.2. Metoda tłumienia

Jak wykazano w rozdziale 4.2, dowód teorii propagacji autora tworzy głównie pomierzona zależność tłumienia trasy od odległości, a nie od współczynników odbicia fali od ziemi na trasie propagacji. Stąd można przyjąć, że

promień fali w ogóle nie dotyka powierzchni ziemi pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem. Pomierzone wartości tłumienia wykazują dużą zgodność z wynikami obliczeń teoretycznych wg wzoru, wyprowadzonego przez autora w założeniu ogniskowania promieni i braku odbić od ziemi, jak to szczegółowo rozpatrzono w rozdziale 3.2.

W celu umożliwienia szybkiego wykorzystania pomiarów przeprowadzonych w podobnie ścisłych warunkach pomiarowych opublikował autor wykres obliczeniowy do określania prawdopodobnego przebiegu promieni przy odległościach ponad 10000 km. Wykres obliczeniowy pozwala na bezpośredni odczyt przebiegu promieni na podstawie pomierzonych wartości tłumienia.

Te pomoce obliczeniowe wykazały na podstawie pomiarów przeprowadzonych nie tylko w Australii, ale i w Europie dominującą rolę propagacji "szepczącej galerii".

4.3.3. Metoda pomiaru czasu

Aby udowodnić teorię propagacji typu "szepcząca galeria" za pomocą dalszej niezależnej metody, autor przeanalizował dostępne mu wyniki pomierzonych czasów opóźnienia ech i wyniki analizy opublikował. Przy danej prędkości propagacji /299792 km/s/ można mierzony czas propagacji wyrazić za pomocą jednostki długości. Jeżeli zdefiniujemy stosunek długości trasy do odległości między nadajnikiem i odbiornikiem na powierzchni ziemi jako "współczynnik obejścia", to dla propagacji transoceanicznej wyłania się pewien zakres współczynnika obej-

ścia, przedstawiający względne wskazanie przebiegu promienia. Według A. Lassena współczynniki obejścia przy propagacji w postaci odbić zygzakowych pomiędzy jonosferą i powierzchnią ziemi, przy wysokości warstw od 200 do 300 km i przy kącie wypromieniowania 6° , są rzędu 1,032...1,043. Z drugiej strony, przy propagacji typu "szepczącej galerii", przy odbiciach fali tylko od jonosfery o identycznych parametrach ale bez odbić od ziemi, współczynniki obejścia leżą, według obliczeń autora, w granicach od 1,0289...1,0347 dla kąta wypromieniowania 6° i w granicach 1,0302...1,0359 dla kąta wypromieniowania 4° . Ogólnie biorąc mogą te współczynniki występować przy propagacji typu "szepczącej galerii" w zakresie 1,021...1,039.

Pomiarami czasu przebiegu zajmował się przy propagacji transoceanicznej szczególnie H.A. Hess za pomocą pomiaru różnicy czasu pomiędzy sygnałami obiegającymi kilkakrotnie ziemię. Za pouczające należy uważać 218 pomiarów, z których określono jako wartość średnią czasu przebiegu 0,13778 sek. Według opublikowanych danych ta wartość średnia w ramach wspomnianej dokładności jest niezależna od częstotliwości, od zmian sezonowych i dobowych właściwości jonosfery i również od położenia geograficznego drogi propagacji. Odpowiedni współczynnik obejścia wynosi 1,0326. Do obliczenia współczynników obejścia należy wg. A. Lassena brać wartości pomiędzy 0,1370 i 0,1384 sek, wynikające z opublikowanych wyników pomiarowych H.A. Hessa, to znaczy współczynniki obejścia 1,027 względnie 1,037. H.A. Hess poleca stosować wartości po-

między 0,1376 i 0,1381 sek, które ograniczają współczynniki obejścia pomiędzy 1,031 i 1,035. W załączonym woryginale artykułu wykazie literatury znajdują się dalsze szczegóły dotyczące względnego opóźnienia sygnałów, odbieranych w Londynie na krótszej i dłuższej części wielkiego koła drogi propagacji. Opublikowano następujące wartości czasów opóźnienia: dla trasy Londyn - Colombo od 0,076 do 0,078 sek, a dla trasy Londyn - Singapur od 0,061 do 0,063 sek. Odpowiednie współczynniki obejścia wynoszą: dla pierwszej trasy 1,013...1,039 i dla trasy Londyn - Singapur - 1,005...1,038. Pomiaru te są interesujące szczególnie ze względu na górne ograniczenie współczynnika.

Przy bliższym rozważaniu wyników pomiarowych w porównaniu ze współczynnikami obejścia, **uzyskanymi** teoretycznie, okazuje się duża zgodność współczynników właściwych dla propagacji typu "szepczącej galerii" z zakresem rozkładu statystycznego mierzonych wartości; jednocześnie wartości dla propagacji typu zygzakowego pomiędzy jonosferą i powierzchnią ziemi wykazują odchylenia od tego zakresu.

W granicach dokładności wartości pomiarowych można uważać ten fakt jako dalszy dowód ogólnego znaczenia teorii propagacji typu "szepczącej galerii".

4.4. Znaczenie wyników dla łączności transoceanicznej

Prognozy propagacji jonosferycznej, podawane przez różne służby prognoz na świecie dla radiokomunikacji,

okazały się podczas ostatniego dwudziestolecia wystarczająco dokładne. Niedostateczne wyniki przy niezakłóconej jonosferze obserwowano tylko w pobliżu granicznych wartości częstotliwości przenoszenia, mianowicie w pobliżu MUF /największa częstotliwość użytkowa i LUF /najmniejsza częstotliwość użyteczna/. Ponieważ optymalna częstotliwość robocza /OWF = FOT/ znajduje szerokie zastosowanie /jej wartość przyjmuje się mniej więcej o 15% mniejszą od chwilowej wartości MUF/, to ewentualne niekorzystne odchylenia w odniesieniu do górnej częstotliwości granicznej są znacznie zmniejszone tak, że tylko LUF wykazuje zauważalne różnice, jak to wykazano w jednej z prac.

Również w związku z treścią rozdziału 3 teoria propagacji typu "szepczącej galerii" dostarcza nowych punktów widzenia, które lepiej wydają się odpowiadać rzeczywistym warunkom, szczególnie w odniesieniu do wpływów jonosfery na propagację transoceaniczną i tłumienie sygnału.

ULEPSZENIE RADIOKOMUNIKACJI PRZEZ WYKORZYSTANIE PROPAGACJI ZA POMOCĄ ODBIĆ ROZPROSZONYCH OD ZIEMI^{1/}

R.T. Wolfram. Improved Communications Using Groundscatter Propagation. Electronics, October 28, 1960, s.74-78.

Jeżeli radiokomunikacja jest trudna lub niemożliwa wzdłuż ortodromy /wielkiego koła/ pomiędzy dwoma stacjami, to może ona być zapewniona na trasie pozaortodromowej.

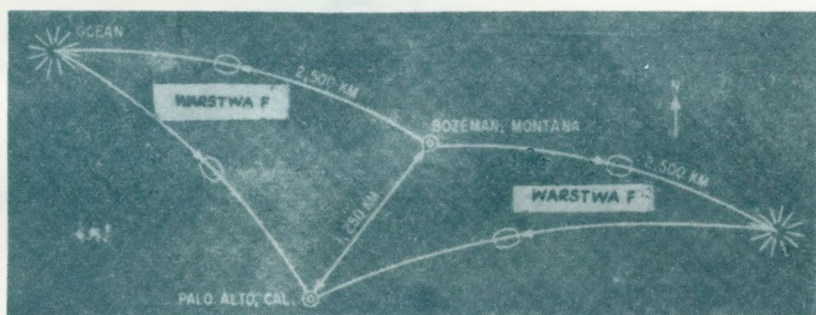
Praca opisuje oprzyrządowanie do badania zjawiska propagacji na trasach pozaortodromowych oraz podaje wyniki badań.

W miarę coraz większego zagęszczenia się kanałów radiokomunikacyjnych w wiśmie fal radiowych, inżynierowie i uczeni badają ponownie wiele pomijalnych zjawisk propagacyjnych. Do nich zalicza się propagację pozaortodromową. Tego rodzaju propagacja jest w zasadzie wieloskokową propagacją jonosferyczną wzdłuż trasy nie przechodzącej przez wielkie koło pomiędzy stacjami nadawczą i odbiorczą. Mechanizm umożliwiający tego rodzaju zjawisko, to rozproszenie energii fal radiowych w wielu kierunkach od powierzchni ziemi oraz odbicie tej energii przez jonosferę.

Praca niniejsza opisuje radiowe urządzenie sondujące do badania charakterystyk propagacji na trasie pozaor-

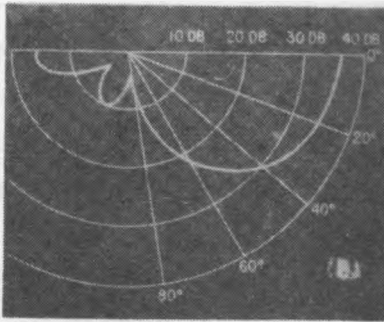
^{1/} Na podstawie oryginału opracował S. Borowski.

todromowej oraz podaje uzyskane wyniki badań. Układ sondujący składa się z nadajnika zainstalowanego w Bozeman w stanie Montana w Stanach Zjednoczonych oraz urządzenia odbiorczego pracującego również w Stanach Zjednoczonych w Palo Alto w Kalifornii. Program anten obu stacji pozwala na przebadanie wszystkich możliwych tras propagacji w ciągu pięciu minut.

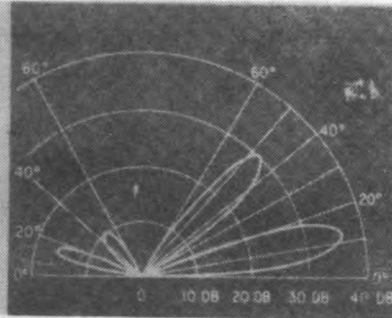


Rys. 1. Rozlokowanie stacji nadawczej w Bozeman i odbiorczej w Palo Alto oraz trasy: ortodromowa i pozaortodromowa między tymi stacjami

Na rysunku 1 widać wzajemne rozlokowanie stacji nadawczej i odbiorczej. Fala nośna 32,98 MHz była modulowana w częstotliwości za pomocą tonu 500 Hz. Szerokość pasma odbiornika wynosiła ok. 3 kHz. Dewiacja wynosiła 1 kHz. Moc nadajnika wynosiła 1,5 kW. Zarówno anteny nadawcza jak i odbiorcza były to jednakowe trzejelementowe układy typu Yagi. Antena nadawcza mogła się obracać z częstotliwością 0,2 obr/min, podczas gdy antena odbiorcza obracała się 10 razy szybciej, tzn. z częstotliwością 2 obr/min. Pomierzona pozioma charakterystyka promieniowania przedstawiona jest na rys. 2.



Rys. 2. Połowa symetrycznej poziomej charakterystyki promieniowania anteny nadawczej



Rys. 3. Pionowa charakterystyka promieniowania anteny nadawczej

Rysunek 3 przedstawia obliczoną teoretycznie pionową charakterystykę promieniowania.

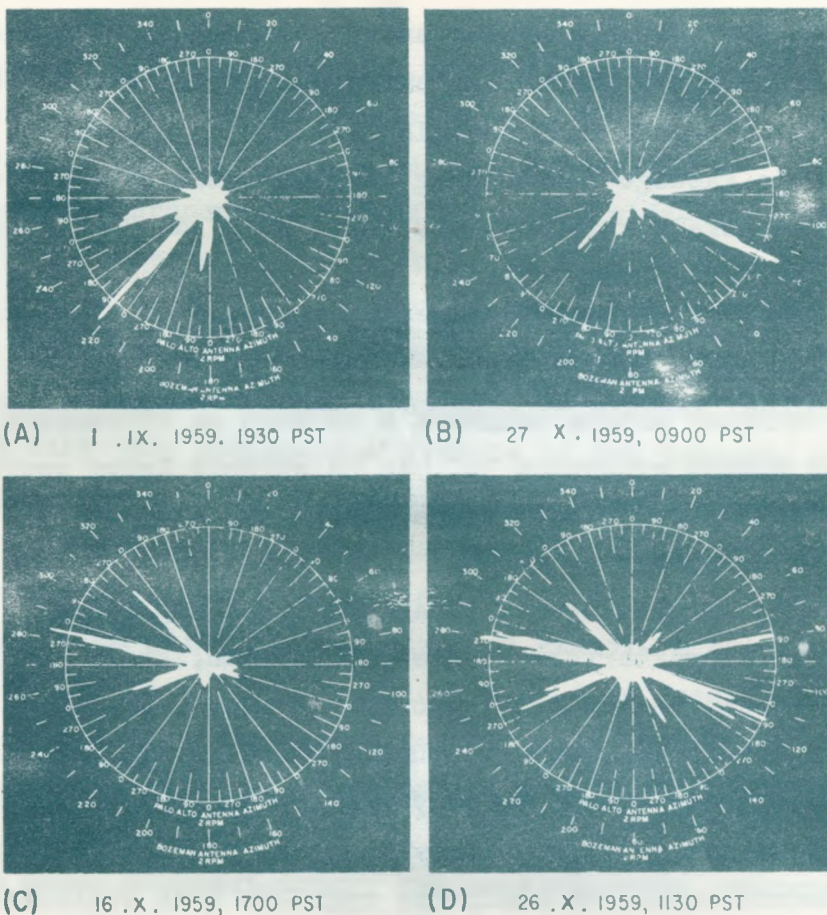
Seanse pomiarowe trwały po 5 minut i zaczynały się co pół godziny.

W sumie obserwacje trwały ok. 6 tygodni po 24 godziny na dobę; niewielkie przerwy w pracy były spowodowane wymianą filmu względnie naprawą aparatury.

Okazało się, że większość połączeń pozaortodromowych była obserwowana na dwu trasach w godzinach dziennych.

Połączenia na jednej trasie dochodziły do skutku; na trasie wschodniej - w godzinach porannych, na trasie północno-zachodniej - w godzinach popołudniowych i wieczornych. Przeciętnie stosunek sygnału do zakłóceń w czasie 5-minutowych obserwacji propagacji na dwu trasach wynosił ok. 40 dB.

Przykłady propagacji sygnału na trzech trasach /jedna trasa wzdłuż wielkiego koła i dwie trasy ppozaortodromowe/ widać na rys. 4.



Rys. 4. Transmisja na 33 MHz

/A/ Trasa ortodromowości, /B/ Trasa wschodnia, /C/ Trasa zachodnia, /D/ Trasa wschodnia i zachodnia jednocześnie, 1 - Podziałka kątowna wewnętrzna oznacza azymut anteny umieszczonej w Palo Alto /2 obr/min/, 2 - Podziałka kątowna zewnętrzna oznacza azymut anteny umieszczonej w Bozeman /0,2 obr/min/

W celu określenia namiarów anteny odbierającej sygnały naniesiono na zobrazowania skalę kątową odniesioną do kierunku północnego. Zewnętrzna skala kątowna od

0° do 360° określa namiar anteny ulokowanej w Bozeman. Ponieważ antena odbiorcza umieszczona w Palo Alto obraca się dziesięć razy szybciej niż antena nadawcza w okresie każdego 5-minutowego seansu pomiarowego, to wewnętrzna skala kątowna ma podziałkę od 0° do 360° w każdym wycinku obejmującym 36° skali zewnętrznej. Wobec tego wewnętrzna skala kątowna może określać namiary anteny odbiorczej w Palo Alto.

Ponieważ antena nadawcza w Bozeman ma stosunkowo szeroką wiązkę wynoszącą 56° , to na ekranie lampy oscylograficznej pojawi się pewna liczba sygnałów co 36° , nawet w przypadku propagacji na jednej trasie. Amplituda każdego sygnału będzie określona przez amplitudę tej części charakterystyki anteny w Bozeman, która jest skierowana wzdłuż drogi propagacji wtedy, gdy antena w Palo Alto przeszukuje kierunek poprzeczny do trasy oraz przez straty trasy pomiędzy tymi dwiema antenami. Jeżeli przyjmiemy, że straty trasy są stałe podczas okresu przeszukiwania, to amplitudy sygnałów będą szkicowały charakterystykę anteny w Bozeman. Kierunek punktów odpowiadających maksimum tego zarysu będzie wskazywał na zewnętrznej skali kątownej namiar anteny w Bozeman dla tej trasy propagacji. Każdy impuls będzie odpowiadał charakterystyce anteny w Palo Alto, zwężonej do jednej dziesiątej. Kierunek każdego impulsu sygnału na zewnętrznej skali kątownej /azymutów/ będzie wskazywał namiar anteny w Palo Alto dla trasy propagacji. Maksymalne odchylenie linii impulsu, odpowiadające stosunkowi sygnału do zakłóceń wynoszącemu 45 dB, jest wskazywane w przybliżeniu na zobrażeniach /rys. 4/.

Przykład propagacji wzdłuż ortodromy przedstawiony jest na rys. 4A. Namiar Bozeman w Palo Alto wynosi ok. 40° . Namiar zaś Palo Alto w Bozeman wynosi 228° .

Przykłady propagacji pozaortodromowej widać na rys. 4B, C i D. Obserwacje wykazują, że na fali 33 MHz często istniało połączenie na trasach pozaortodromowych pomiędzy Bozeman /stacja nadawcza/ i Palo Alto /stacja odbiorcza/. Z namiarów anten wynikało, że sygnały radiowe na tej fali były propagowane głównie na dwu trasach; na jednej trasie sygnały były odbijane od ziemi około 2500 km na wschód od stacji, na drugiej zaś trasie obszar odbicia znajdował się mniej więcej na tej samej odległości na północnym wschodzie od stacji. Z odległości oraz MUF'ów można było wnioskować, że w czasie obserwacji istniała propagacja dwuskokowa z dwukrotnym odbiciem od obszaru F i jednym odbiciem od ziemi, jak to widać na rys. 1.

Dla danej długości trasy, gdy częstotliwość robocza była równa MUF dla trasy, natężenie odbieranych sygnałów było maksymalne, co było powodowane zjawiskiem ogniskowania w jonosferze. Jeżeli częstotliwość robocza byłaby stała, to długość trasy, dla której natężenie pola byłoby największe, zależałoby od MUF. Jeżeli MUF maleje w porównaniu do wielkości odpowiadającej propagacji ortodromowej, to optymalna długość trasy rośnie, i należy stosować dłuższe, pozaortodromowe trasy.

W przypadku obserwowanej trasy, każdy skok poprzez warstwę F na trasie pozaortodromowej musiał odpowiadać długości trasy, zależnej od kąta promieniowania anteny

- a więc w danym przypadku długość trasy wynosiła ok. 2500 km przy kącie promieniowania anteny równym 12° ; w związku z tym MUF odpowiadająca środkowi trasy musiała mieć wartość równą mniej więcej roboczej częstotliwości 33 MHz.

5. HISTORIA BADAŃ NAD PROPAGACJĄ POZAORTODROMOWĄ I ZNACZENIE TEJ PROPAGACJI

Naukowcy i eksperymentatorzy od dawna byli świadomi, że może istnieć propagacja pozaortodromowa. Już w 1928 roku Taylor i Young opisali badania nad tego rodzaju propagacją oraz wyjaśniali, że przyczyną tego zjawiska jest mechanizm odbić rozproszonych, chociaż dopiero w dwadzieścia lat później teoria ta została ogólnie uznana.

W 1939 r. Feldman opublikował wyniki badań pomiędzy Londynem i Nowym Jorkiem na częstotliwościach od 5 do 15 MHz przy zastosowaniu anten o regulowanych charakterystykach; z pracy tej wynika, że były liczne przykłady odbioru sygnałów, których namiary odchodziły się aż do 80° od ortodromy. W wielu przypadkach propagacji pozaortodromowej łączność radiotelefoniczna była zadowalająca.

W 1941 r. Edwards i Jansky dyskutują odbiór sygnałów impulsowych na częstotliwościach od 10 do 20 MHz transmitowanych na drodze wieloskokowej za pomocą odbić od ziemi; punkt odbiorczy znajdował się wówczas o 50 km od nadajnika.

Z dalszych badań propagacji pozaortodromowej nale-

ży wymienić Mitchella /1955/ oraz Hedlunda, Edwardsa i Whitcrafta /1956/^{1/} oraz licznych radioamatorów. Japończycy: Miya, Kanaya i Ishikawa przeprowadzali doświadczenia na bardzo długich trasach, stwierdzając znaczne odchylenia namiarów od ortodromy, np. na trasach Londyn - Tokio, Hawaj - Tokio; w związku z tymi badaniami opracowano nową metodę prognozowania propagacji fal, uwzględniającą również propagację pozaortodromową.

Sprawozdania te podkreślają ważność obserwowanego zjawiska oraz znaczenie systematycznych badań w tej dziedzinie.

6. ZNACZENIE PROPAGACJI POZAORTODROMOWEJ

W badaniach opisanych w niniejszym artykule sygnały otrzymywane przy propagacji za pomocą rozprożeń od ziemi odznaczają się na tyle wystarczającym natężeniem, by można było utrzymywać pewną liczbę połączeń. Stąd wynikają sugestie systematycznego wykorzystywania propagacji pozaortodromowej w celu poprawienia systemów komunikacyjnych. Stosując zmiany azymutów anten zamiast przełączania kanałów, można zredukować: liczbę kanałów częstotliwościowych lub zwiększenie mocy nadajnika, gdy te sposoby są użyte do utrzymania komunikacji wzdłuż ortodromy. Nawet gdy komunikacja wzdłuż ortodromy jest uży-

^{1/} Polska zgłosiła w 1959 r. na Zgromadzenie Ogólne CCIR w Los Angeles dokument Nr 211-F, opracowany przez prof. Stefana Manczarskiego dotyczący propagacji pozaortodromowej fal jonosferycznych.

teczna, to mając do dyspozycji inne trasy można zmniejszyć zjawisko interferencji.

Propagacja pozaortodromowa może powodować poważne błędy w wynikach otrzymywanych w urządzeniach radionamiarowych wielkiej częstotliwości.

Mimo że uzyskano już cenne dane, to jednak potrzebne są jeszcze rozleglejsze badania i doświadczenia, zanim zjawisko propagacji pozaortodromowej będzie mogło być praktycznie wykorzystywane.

Do określenia "pojemności" informacji przesyłanych za pomocą propagacji pozaortodromowej i w celu rozwinięcia techniki roboczej konieczne są: obserwacje w ciągu dłuższych okresów na różnych częstotliwościach, badania subtelnej struktury odbieranych sygnałów oraz praca doświadczalnych linii komunikacyjnych.

621. 391. 812. 624
551. 510. 535

BADANIE UŻYTECZNOŚCI SONDOWANIA ROZPROSZENIA WSTECZNEGO W PRACY SŁUŻB RADIOFONICZNYCH NA FALACH METROWYCH^{1/}

E.D.R. SHERMAN: An investigation of the usefulness of back-scatter sounding in the operation of H.F. broadcast services. The Proceedings of the Institute of Electrical Engineers, v. 108, part B, number 40, July 1961, s. 363-374.

W radiofonii pracującej na falach metrowych wybiera się częstotliwości i anteny w ten sposób, by zapewnić słuchaczom optymalne natężenie sygnału w pożądanym ob-

^{1/} Na podstawie oryginału opracował S. Borowski.

szarze służby. Wskutek zmieniającej się natury jonosferycznego środowiska transmisyjnego pożądane są pomiary rozkładu energii rzeczywiście odbieranej w tym obszarze.

W opisywanych doświadczeniach wykonywano pomiary ech impulsowych rozpraszanych wstecz przez nieregularności terenu w obszarze służby; wcha obserwowano na wskaźnikach podających zależność echa od odległości.

W próbach przeprowadzonych za pomocą układów dwu anten charakterystyki ech wyraźnie wykazują różny rozkład energii. Charakterystyki pomierzone zgadzają się dobrze z charakterystykami obliczonymi dla układu dwu anten w założeniu warstwy jonosferycznej o parabolicznym rozkładzie gęstości elektronów i z wykorzystaniem równania radarowego.

Dalsze badania w nocy przy zmieniających się warunkach jonosferycznych wskazują, że rodzaje propagacji na odległościach do 5000 km były dobrze oszacowane za pomocą sondowania rozproszenia wstecznego w tym czasie, gdy prognozy jonosferyczne, korygowane za pomocą sondowania pionowego, dawały błędne wyniki.

1. WSTĘP

Artykuł opisuje dwie serie doświadczeń przeprowadzonych w celu oszacowania użyteczności sondowania rozproszenia wstecznego w pracy zamorskich służb radiofonicznych B.B.C. Stosowana technika oraz uzyskane wyniki powinny być również interesujące w badaniach innych służb radiofonicznych na falach metrowych i w badaniach połączeń radiokomunikacyjnych pomiędzy dwoma punktami.

Sondowanie rozproszenia wstecznego, jako zastosowanie techniki radarowej do badań propagacji fal w zakresie metrowym, było prowadzone przez szereg uczonych w ostatnich latach; wykaz literatury dotyczący tego zagadnienia podany jest w spisie prac na końcu oryginału tego artykułu.

Przy sondowaniu rozproszenia wstecznego, tak jak w radarze, impulsy fal są promieniowane przez antenę kierunkową, a zasięgi celów są określane za pomocą opóźnienia czasowego powracających ech.

Jednakże w przeciwieństwie do radaru pierwszym zamierzeniem nie jest umiejscowienie celu, którym przy sondowaniu rozproszeń są nieregularności znajdujące się na całej powierzchni ziemi, lecz określenie, które części ziemi są "oświetlane" przez jonosferyczne odbicia transmitowanych fal radiowych. Azymuty tych oświetlonych części ziemi zależą od szerokości charakterystyki promieniowania anteny nadawczej i leżą w obszarze uskoku określonym przez częstotliwość nadajnika, gęstość jonizacji i wysokość warstwy jonosferycznej.

Do niedawna kładziono nacisk na stosowanie sondowania rozproszenia do pomiarów odległości uskoku przy określonej częstotliwości, a stąd przy obserwacjach przy pewnej liczbie częstotliwości, do określania MUF dla danej odległości. Z takich pomiarów uzyskuje się jedynie minimalną odległość lub maksymalną częstotliwość dla radiokomunikacji. Obecnie zauważono, że tego rodzaju technika może również dostarczyć informacji na temat rozkładu energii w obszarze "oświetlonym", tak że można wydedukować

rozkład natężenia pola w różnych częściach obszaru obsługi.

W służbach radiofonicznych dobiera się częstotliwości i anteny tak, aby radiosłuchacze uzyskiwali najsilniejsze sygnały w pewnym obszarze. Pomiary, jakie wykonuje się dla otrzymania tego celu, są starannie przygotowywane na podstawie obecnego stanu wiedzy na temat skomplikowanych procesów propagacyjnych przy uwzględnieniu dokładności prognozowania gęstości jonizacji i wysokości warstw jonosferycznych. Wyniki pomiarów mogą dać sprawozdania radiosłuchaczy, jednakże ta metoda wprowadza opóźnienie i ogranicza obserwacje do specyficznych warunków lokalnych obserwowanych stacji.

Możliwości zastosowania charakterystyk odbić sondowania wstecznego obserwowanych na stacji nadawczej do oznaczenia chwilowego rozkładu energii na danym obszarze służby odznaczają się dużą atrakcyjnością. Powinno być możliwe bezpośrednie obserwowanie zmian w tym rozkładzie energii w miarę zmian częstotliwości nadajnika i pionowej charakterystyki promieniowania anteny nadawczej; stąd można określić optymalne warunki pokrycia stacji radiofonicznych. Takie obserwacje w godzinach dziennych w zmiennych warunkach jonosferycznych powinny umożliwić pomiary pozwalające na określenie zmian z dnia na dzień.

A zatem, celem doświadczeń opisanych w tym artykule było określenie, za pomocą sondowania rozproszenia wstecznego, rozlokowania obszarów "oświetlonych" oraz zbadanie, w jakich granicach charakterystyki odbić

odległość/amplituda dawały wskazówki o zmianach natężenia pola wzdłuż ortodromy /wielkiego koła/ przechodzącej przez charakterystykę anteny nadawczej. Zbadano wpływ różnych anten na obserwowane charakterystyki; porównano kształty charakterystyk zdjętych doświadczalnie z kształtami charakterystyk obliczonych teoretycznie dla gęstości jonizacji i wysokości warstw jonosferycznych pomierzonych jednocześnie za pomocą sondowania pionowego. Z tych porównań wynika, że sondowanie rozproszenia było dobrym wskaźnikiem rzeczywistych warunków propagacji oraz pokrycia obszaru obsługiwanego.

W drugiej serii doświadczeń nawiązano współpracę z obserwatorami pracującymi na dużych odległościach, aby uzyskać sprawozdania na temat natężenia pola, a przez to kontrolę natężenia pola na dużych odległościach. Częstotliwość wybrano taką, że spodziewano się otrzymać obszar nie "oświetlony" pomiędzy obszarami "oświetlonymi" za pomocą propagacji jednoskokowej i dwuskokowej; obszar nie oświetlony miał obejmować pewną liczbę miejscowości, w których przeprowadzano obserwacje. Istnienie takich nie oświetlonych miejscowości, czego nie można było prognozować przy przyjęciu zwykłej metody dwu punktów kontrolnych, było wykazywane za pomocą sondowania wstecznego i innych obserwacji w Slough; było to zgodne z ostatnią opracowaną metodą obliczania propagacji wieloskokowej.

Niestety, w czasie doświadczeń warunki jonosferyczne nie były odpowiednie do uzyskania obszarów nie oświetlonych. Mimo to próby były pożyteczne, gdyż dostarczyły

okazji do porównania zmian zachodzących z dnia na dzień w charakterystykach echa rozproszenia wstecznego z odpowiadającymi im zmianami przy propagacji za pomocą jednej drogi do punktów odbiorczych oraz z rodzajami propagacji obłączonymi za pomocą wyżej wspomnianej metody.

2. TECHNIKA DOŚWIADCZEŃ

W czasie doświadczeń nadawano za pomocą anteny kierunkowej 15-minutowe seanse z jednej ze stacji krótkofalowych B.B.C. w Rampisham; moc w impulsie wynosiła 50 kW, długość impulsu - 1 ms, częstotliwość powtarzania - 25 Hz.

Charakterystyki echa rozproszenia wstecznego obserwowano w Slough, gdzie też dla porównania nadawano audycje analogicznie jak w Rampisham.

Dane charakterystyczne na stacji Slough były następujące: moc w impulsie 100 kW, długość impulsu 120 μ s, oraz częstotliwość powtarzania 25 lub 12,5 Hz.

W przypadku nadawania sygnałów z Rampisham i odbioru ich w Slough skuteczna wartość współczynnika kierunkowości anteny była w przybliżeniu równa iloczynowi współczynników kierunkowości obu anten. W przypadku nadawania i odbioru sygnałów w Slough skuteczna wartość współczynnika kierunkowości anteny była równa kwadratowi współczynnika kierunkowości anteny w Slough. W obu przypadkach można było zastosować porównanie charakterystyk rozproszenia wstecznego do zbadania wpływu kierunkowości anten w płaszczyźnie pionowej na rozproszenie wsteczne oraz do zbadania możliwości pomiaru rzeczywistej sprawności anten.

Większą długość impulsu na stacji nadawczej w Rampisham, 1 ms w porównaniu do 120 μ s w Slough, wybrano w celu powiększenia mocy nadajnika. Ponieważ moc echa odbieranego przez rozproszenie wsteczne od ziemi wzrasta dla krótkich impulsów proporcjonalnie do długości impulsu, to spodziewano się, że impulsy o długości 1 ms będą dawać silniejsze echa i umożliwiać ich wykrywanie z obszarów o mniejszym natężeniu pola.

2.1. Doświadczenia

Doświadczenia przeprowadzano przez 4 dni na fali 21,6 MHz oraz przez 5 dni na fali 15,42 MHz.

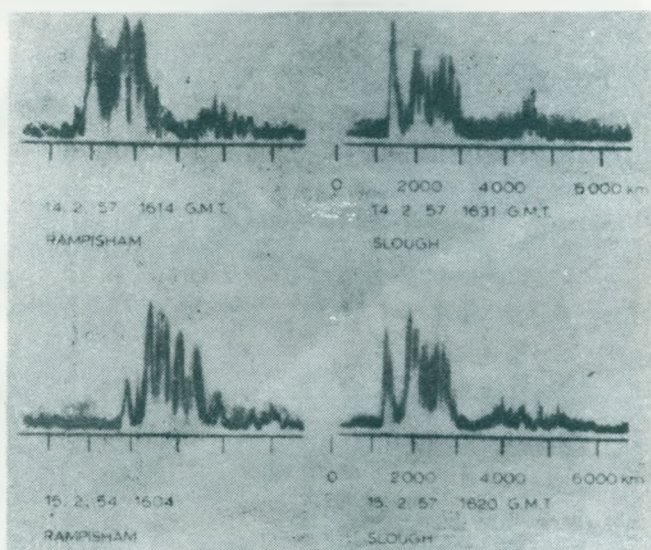
Chociaż w obu przypadkach anteny odbiorcze używane w Slough były te same, to jednak ich charakterystyki były różne z powodu stosowania innych częstotliwości.

W czasie prób pewna liczba obserwatorów ulokowanych na ortodromie przechodzącej przez wiązkę anteny w Rampisham, przesyłała sprawozdania dotyczące natężenia pola transmitowanego przez radiostację w Rampisham i odbieranego w poszczególnych miejscowościach. Transmisje impulsowe poprzedzane były 5-minutowymi transmisjami na fali ciągłej, podczas których przeprowadzane były obserwacje dobroci transmisji wg kodu SINPO.

Otrzymywano również sprawozdania dotyczące odbioru sygnałów zarówno impulsowych jak i na fali ciągłej spoza Wysp Brytyjskich, a mianowicie z Malty, Afryki Równikowej oraz Wyspy Wniebowstąpienia na Atlantyku.

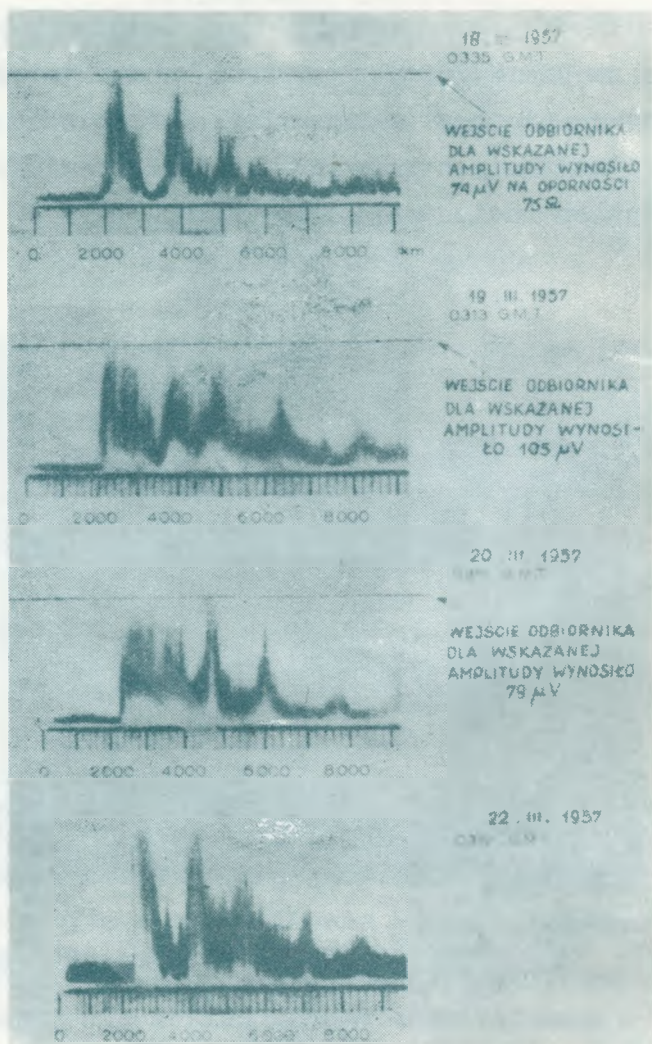
3. WYNIKI DOŚWIADCZEŃ

Opisano najpierw różnice pomiędzy charakterystykami ech obserwowanymi przy transmisjach z Rampisham oraz ze Slough; przyczyną tych różnic była inna moc i większa długość impulsu radiostacji Rampisham.



Rys. 1. Porównanie charakterystyk ech /zależności amplitudy sygnału odbieranego od odległości/ rozproszenia wstecznego pochodzących od nadajników w Rampisham / $P_{nad} = 50 \text{ kW}$, szerokość impulsu = 1 ms/ i w Slough / $P_{nad} = 100 \text{ kW}$, szerokość impulsu 120 μs . Warunki propagacji stabilne

Następnie omówiono wpływ parametrów anten oraz propagacji. W pierwszej serii doświadczeń warunki propagacji były stabilne. W tej serii prób zbadano również wpływ anteny na charakterystyki ech. W tym celu porów-



Rys. 2. Charakterystyki ech rozproszenia wstecznego pochodzącego od nadajnika w Slough / $P_{nad} = 100$ kW, szerokość impulsu = 120 μ s/. Warunki propagacji niestabilne

nano charakterystyki odbić uzyskane przy transmisjach ze Slough i z Rampisham z charakterystykami obliczonymi za pomocą równania radarowego i przy założeniu parabolicznego rozkładu gęstości jonizacji w warstwie.

W drugiej, nocnej serii prób warunki propagacyjne były bardzo niestabilne; te doświadczenia wykazują możliwości obserwacji warunków propagacyjnych za pomocą rozproszenia wstecznego.

Podano również wyniki teoretycznych obliczeń kształtów charakterystyk anten w celu zidentyfikowania jedno-, dwu- i trzyskokowych rodzajów propagacji.

4. WNIOSKI

Dwie serie opisanych doświadczeń wykazały dwie możliwości sondowania rozprożeń wstecznych: jako inżynierskiego środka dla znalezienia najkorzystniejszej częstotliwości i układu antenowego w celu uzyskania pokrycia specyficznego obszaru geograficznego oraz jako natychmiastowo działającego wskaźnika warunków propagacyjnych.

W próbach przeprowadzonych w stabilnych warunkach jonosferycznych okazało się, że obserwowane charakterystyki ech były zgodne z charakterystykami obliczonymi za pomocą charakterystyk anten i mierzonych warunków propagacyjnych. W tych doświadczeniach można było jasno zauważyć różnicę w pokryciach, wytwarzanych przez dwa układy anten. Wyniki pomiarów sugerują zastosowanie rozproszenia wstecznego do szybkiego określenia optymalnej charakterystyki pionowej niezbędnej do pokrycia danego obszaru.

W drugiej części prób okazało się, że sprawozdania otrzymane od radiosłuchaczy rozlokowanych wzdłuż drogi propagacji były zgodne z wnioskami wyprowadzonymi z charakterystyk rozproszenia wstecznego; ta metoda doświadczalna może dostarczyć natychmiastowych wskazań skutecznych rodzajów propagacji na wszystkich odległościach wzdłuż trasy.

Ta natychmiastowa metoda określenia warunków propagacyjnych aż do odległości 5000 km może być porównywana z inną, interpolacyjną metodą oszacowania tych warunków na jednym końcu trasy. Metoda interpolacyjna przyjmuje, że wysokość warstwy jonosferycznej i częstotliwość krytyczna zmniejszają się wzdłuż trasy zgodnie z gradientem obliczonym z map prognoz jonosferycznych; jednakże absolutne wartości tego gradientu są korygowane tak, że wysokość warstwy i częstotliwość krytyczna w punktach obserwacji odpowiadają jednoczesnym wartościom uzyskiwanym za pomocą pionowego sondowania jonosfery.

Ze sprawozdań radiosłuchaczy na Malcie wynika, że odległość uskoku wydedukowana za pomocą sondowania rozproszenia wstecznego była dokładna; obserwacje z Afryki Równikowej /Lagos/ potwierdzają rodzaje propagacji określane za pomocą rozproszenia wstecznego, mimo że te rodzaje propagacji nie odpowiadały rodzajom przewidywanym za pomocą metody interpolacyjnej.

Dalsze potwierdzenie dokładności istniejących na trasie rodzajów propagacji, wydedukowanych na podstawie sondowania rozproszenia wstecznego, dawała zgodność tych rodzajów z rodzajami obliczonymi na podstawie jednoczesnych jonosferycznych sondowań pionowych wzdłuż trasy.

