

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

92

1973

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI



PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 13

WARSZAWA 1973

NR 92

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,

mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności

Format B5. Nakład 620. Wpłynęło do

Działu Wydawniczego 29.12.1972 r.

Druk ukończono w marcu 1973 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Opracowanie tłumaczeń

STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Optymalne parametry mocy i efektywności ekonomicznej systemów łączności satelitarnej - Opracował J. Rutkowski	2
2. Zachodnioeuropejski satelitarny system telekomunikacyjny - Opracował J. Jakubik	33
3. Integracja systemów łączności satelitarnej z sieciami ogólnymi - Opracował H. Kalita	49
4. Porównanie systemów łączności satelitarnej z innymi systemami teletransmisyjnymi - Opracował H. Kalita	59
5. Podstawowe zagadnienia radiodyfuzji satelitarnej - Opracował J. Zygierewicz	75
6. Perspektywy wykorzystania i rozwoju satelitów dla lotnictwa cywilnego i żeglugi morskiej - Opracował J. Rutkowski	96
7. Zastosowanie metod łączności kosmicznej w ruchomych służbach lotniczych - Opracował J. Zygierewicz	125

STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ

WSTĘP

W niniejszym numerze Problemów Łączności poświęconym telekomunikacji satelitarnej, przedstawiono szereg artykułów dotyczących: wykorzystania łączności satelitarnej w radiokomunikacyjnej służbie stałej /4 artykuły/, radiodifuzji satelitarnej /1 artykuł/ i zastosowania łączności satelitarnej w służbach ruchomych dla potrzeb lotnictwa i żeglugi morskiej /2 artykuły/.

Podstawą powyższego opracowania były wybrane artykuły zamieszczone w specjalnym numerze Telecommunication Journal poświęconym łączności kosmicznej /maj, 1971 r./.

Ze względu na szybki rozwój, zwłaszcza w satelitarnej radiokomunikacji stałej, dane liczbowe przytoczone w tekstach mogły już ulec pewnym zmianom. Nie zmieniły się natomiast w większym stopniu naszkicowane w artykułach kierunki badań i rozwoju poszczególnych służb łączności satelitarnej.

OPTYMALNE PARAMETRY MOCY I EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ

Opracował J. Rutkowski na podstawie artykułu Talyzina N.W., Kantora L.Y. i Payanskiego Y.M.: Optimum power parameters and economic efficiency of a communication satellite system. *Telecomm. J.* 1971 t. 38 nr 5, s. 279-289.

Sieć łączności satelitarnej Związku Radzieckiego, która liczy aktualnie 40 stacji naziemnych w eksploatacji, zostanie w najbliższych latach jeszcze rozbudowana.

Aby wybudować tak kosztowną i złożoną sieć telekomunikacyjną, trzeba było przestudiować i dokonać starannego wyboru optymalnych parametrów satelitów i stacji naziemnych w celu zredukowania do minimum kosztów całości systemu. W tym celu opracowano ogólną metodę analizy, którą można zastosować do dowolnego systemu łączności satelitarnej.

Studium niniejsze ma więc na celu porównanie wskaźników ekonomicznych systemów kosmicznych ze wskaźnikami systemów ziemskich, z uwzględnieniem przyjętej, jako wstępne założenie, dyrektywy zakładającej otrzymanie dla systemów satelitarnych optymalnych parametrów mocy, kosztem jak najmniejszych nakładów.

Spśród najważniejszych parametrów mocy należy wziąć pod uwagę moc nadajnika pokładowego satelity; stosunek zysku anteny stacji naziemnej do całkowitej temperatury szumów systemu odbiorczego, to znaczy współczynnik przydatności stacji naziemnej $/G/T/$; moc emitowaną stacji naziemnej i dewiację częstotliwości /wartość skuteczną odpowiadającą poziomowi zmierzonemu jednego kanału/.

Zakłada się, że system łączności satelitarnej pracuje z modulacją częstotliwości, z dostępem uwielokrotnionym o podziale czasowym.

W studium niniejszym rozpatrzono system łączności satelitarnej, w którym stacje naziemne mogą być połączone między sobą również za pomocą łączy ziemskich, a to w celu obsłużenia miejscowości położonych między nimi. Konieczne jest więc, aby system kosmiczny był korzystny z punktu widzenia ekonomicznego w stosunku do wykorzystywanych łączy ziemskich typu klasycznego, zarówno jeśli chodzi o połączenia nowo wybudowane, jak i zmodernizowane łącza istniejące. Zrozumiałe jest, że przy rozpatrywaniu tego zagadnienia, ekonomika systemu łączności satelitarnej staje się bardziej krytyczna.

Proponowana metoda analizy pozwala na dokonywanie analiz efektywności ekonomicznej dla systemów, w których stacje naziemne oddzielone są jeszcze obszarami wodnymi lub terytoriami niezamieszkałymi.

Zgodnie z drugim podstawowym założeniem tego studium przyjmuje się, że system satelitarny może być stosowany zarówno dla telefonii wielokrotnej, jak i dla jednokierunkowego przesyłania programów telewizyjnych.

Należy zauważyć, że problemowi temu poświęcono już pewną liczbę opracowań. Na przykład w [1] autor przyjął za podstawę rozważań istnienie stałej, określonej taryfy dla dwukierunkowych, satelitarnych łączy telefonicznych. Wydaje się, że tej propozycji nie da się uogólnić. Można przecież wykazać, że optymalna moc urządzenia nadawczo-odbiorczego satelity /a w konsekwencji taryfa za wykorzystanie łączy satelitarnych odpowiadająca minimum nakładów na cały system/ stanowi funkcję zdolności przepustowej systemu, liczby stacji naziemnych itp.

W pewnych warunkach zwiększając moc satelity i podnosząc w konsekwencji taryfę stosowaną do segmentu kosmicznego systemu, dochodzi się do zmniejszenia całkowitego kosztu systemu, zmniejszając koszt stacji naziemnych. Tak więc dla każdego z wariantów danych podstawowych /liczba stacji w systemie, liczba łączy na stację itp./ należy określić optymalne parametry mocy odpowiadające minimalnym kosztom całego systemu.

Zauważmy na koniec, że w niektórych opracowaniach - a zwłaszcza w [1] - przy obliczaniu kosztów równoważnych sieci ziemskiej nie uwzględniono grupowania łączy w wiązki, które w rzeczywistości praktykowane jest w postaci łączenia w grupy połączeń pomiędzy różnymi parami stacji końcowych. Grupowanie stanowi sposób znacznego obniżania kosztów w przeliczeniu na 1 łącze, gdyż w systemach o dużej zdolności przepustowej koszt kilometro-łączy jest zawsze mniejszy.

Jeśli zignoruje się ten fakt, ryzykuje się wyciągnięcie błędnych wniosków co do zwiększenia kosztów sieci ziemskiej, które towarzyszy zwiększeniu liczby stacji, w wyniku zmniejszenia liczby łączy w każdej wiązce. Wychodząc z tego założenia, można by dojść do błędnego przedstawienia efektywności ekonomicznej systemu z dostępem uwielokrotnionym.

W rzeczywistości, jeśli zwiększa się liczbę stacji N /dla $N \geq 1$ i dla określonej zdolności przepustowej satelity/, liczba łączy grupowanych w wiązki w połączeniu równoważnym pozostaje praktycznie nie zmieniona.

Autorzy opracowali w [2,3] podstawowe zasady zaproponowanej tu metody analizy. W tych pracach koszt budowy i eksploatacji systemu łączności scharakteryzowany jest za pomocą jednego, ogólnego wskaźnika C systemu:

$$C = RI + E$$

/1/

R = współczynnik rentowności inwestycji,

I = nakłady początkowe przewidziane dla systemu /w tym nakłady na prace badawcze i rozwojowe/,

E = roczne koszty eksploatacji /w tym zamiana satelitów wyłączonych z eksploatacji; tak że wielkość E zależy od założonego okresu użytkowania satelity/.

Koszt satelity /wraz z kosztem jego umieszczenia na orbicie/ /2/ wyraża się przez

$$C_{\text{sat}} = \varphi / P_{\text{sat}}, N_c / \quad /2/$$

gdzie:

P_{sat} - moc nadajnika satelity na 1 kanał,

N_c - liczba kanałów satelity.

Koszty eksploatacji urządzeń naziemnych /w tym urządzeń kontroli i sterowania satelity/ są w zasadzie proporcjonalne do wielkości kapitału zainwestowanego w te urządzenia.

Uważa się, że koszt systemu antenowego stacji jest proporcjonalny do kwadratu średnicy reflektora anteny, gdy tymczasem koszt nadajnika stacji naziemnej jest proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego jego mocy wyjściowej.

W analizie uwzględniono również znaczenie wyboru rodzaju stopnia wejściowego o małym poziomie szumów odbiornika stacji naziemnej, który określa współczynnik przydatności G/T stacji. Zagad-

nienie to zasługuje na szczególną uwagę w przypadku sieci zamkniętej złożonej z dużej liczby stacji, ponieważ rozwiązanie optymalne polega na instalowaniu stacji wyposażonych w małe anteny, a koszt wzmacniaczy wejściowych o małym poziomie szumów może wywierać decydujący wpływ na optymalne parametry mocy systemu.

W studium niniejszym wzięto pod uwagę sześć rodzajów urządzeń wejściowych:

a/ wzmacniacz parametryczny, którego pierwsze stopnie chłodzone są helem w stanie gazowym /temperatura szumów wzmacniacza $T_b \approx 20^\circ\text{K}$ /

b/ wzmacniacz parametryczny, którego pierwsze stopnie chłodzone są ciekłym azotem / $T_b \approx 50^\circ$ do 70°K /

c/ wzmacniacz parametryczny o dwu stopniach nie chłodzonych / $T_b \approx 150^\circ$ do 180°K /

d/ wzmacniacz parametryczny o jednym stopniu nie chłodzonym / $T_b \approx 250^\circ\text{K}$ /

e/ wzmacniacz na diodzie tunelowej / $T_b \approx 700^\circ$ do 800°K /

f/ wprowadzenie bezpośrednio sygnału wejściowego do mieszacza półprzewodnikowego / $T_b \approx 1500^\circ$ do 2000°K /.

Stosunek pomiędzy kosztem wzmacniacza a jego temperaturą szumów jest funkcją w przybliżeniu regularną, która stosowana była do obliczenia minimalnego kosztu stacji.

Krzywe na rysunku 1^{x/} przedstawiają w jednostkach względnych

^{x/} W wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

zmiany cen systemu antenowego $/C_{ant}$, wzmacniacza wejściowego o małym poziomie szumów $/C_{ampl.}$ i całego zespołu tych elementów $/C_{\Sigma}$ w funkcji średnicy anteny dla stałego stosunku G/T równego 25 dB. Jest oczywiste, że istnieje zależność pomiędzy średnicą anteny i rodzajem wzmacniacza o małym poziomie szumów, dla której otrzymuje się daną wartość G/T dla minimalnego kosztu stacji.

Optymalne wymiary anteny i wartość skuteczną temperatury szumów odbiornika stacji naziemnej, która odpowiada minimalnemu kosztowi stacji dla danego stosunku G/T , określono dla rozmaitych wartości G/T . Zależność ta zilustrowana jest na rys. 2.

Znajdziemy w [4] pogłębione studium wpływu poszczególnych podzespołów stacji na jej koszt dla danego G/T .

W artykule niniejszym dokonana analiza poświęcona optymalnym parametrom systemu łączności satelitarnej oparta jest na założeniu, że dla stacji naziemnej o określonym stosunku G/T parametry wybrane zostały w każdym przypadku według rys. 2, to znaczy dla minimalnego kosztu stacji naziemnej.

Pomiędzy współczynnikiem przydatności G/T a mocą P_{sat} istnieje dla danej wartości szumów na odcinku satelita - Ziemia zależność o postaci:

$$G/T = a_2 P_{sat}^{-1} \quad /3/$$

Wartości współczynników można określić na podstawie studium [2].

Jeśli się założy pewną współzależność pomiędzy istniejącym poziomem szumów odpowiednio na odcinku Ziemia - satelita i na odcinku satelita - Ziemia, wymagana moc nadajnika stacji naziemnej

będzie proporcjonalna do mocy nadajnika satelity /pod warunkiem, że stacja naziemna używa tej samej anteny do nadawania i odbioru lub że istnieje stały związek pomiędzy średnicami anten: nadawczej i odbiorczej/.

Podane zależności są w zasadzie wystarczające dla potrzeb analizy, gdyż pozwalają one wyrazić wszystkie zmienne za pomocą tej samej wielkości, na przykład G/T . Współczynnik przydatności stacji charakteryzuje doskonale możliwości techniczne tej ostatniej i okazuje się najwygodniejsze kryterium do studiowania systemów łączności satelitarnej. Problem optymalizacji sprowadza się do określenia minimalnego kosztu całkowitego systemu w funkcji zmiennej G/T . W tym celu można wyznaczyć dolną granicę stosunku G/T określoną przez największą dopuszczalną gęstość mocy na powierzchni Ziemi. Wartości liczbowe współczynnika przydatności otrzymano w wyniku przeanalizowania i uogólnienia wielkiej liczby danych zaczerpniętych z opracowań rozmaitych autorów. Obliczenia przeprowadzono za pomocą komputera.

Jak zauważono wyżej, główna cecha charakterystyczna niniejszego opracowania polega na fakcie, że uwzględnia ono możliwość grupowania wiązek łączy sieci ziemskiej w wielokanałowe arterie o wielkiej zdolności przepustowej. Zbadajmy więc wpływ grupowania łączy w sieci ziemskiej i zastosujmy odpowiednie do przypadku zespołu stacji rozmieszczonych na obwodzie pierścienia /rys. 3/. Do zrealizowania systemu, w którym każda z N stacji może nawiązywać połączenia bezpośrednio z każdą z pozostałych, należy utworzyć $\frac{N(N-1)}{2}$ łączy pomiędzy parami tych stacji.

Na odcinku linii równoważnej /na odcinku pomiędzy dwiema połą-

czonymi ze sobą stacjami/ należy zgrupować łącza rozmaitych relacji w dwie wiązki. W tych warunkach współczynnik grupowania $K_{gr.j}$ na j-tym odcinku sieci ziemskiej może być rozważany jako stosunek pomiędzy liczbą n_j łączy tego j-tego odcinka a średnią liczbą łączy \bar{n} w relacji pomiędzy parą stacji:

$$K_{gr.j} = \frac{n_j}{\bar{n}} \quad /4/$$

to znaczy, że jest on równy liczbie łączy zgrupowanych na danym odcinku linii równoważnej.

W najprostszym przypadku przedstawionym na rys. 3, gdzie wszystkie stacje równoważnej sieci ziemskiej mają tę samą zdolność przepustową i rozmieszczone są w jednakowych odległościach od siebie na obwodzie pierścienia, współczynnik grupowania jest prawie taki sam dla całego pierścienia, jeśli N jest równe 3 lub większe. Wynosi on:^{x/}

$$K_{gr} = \frac{N^2 - 1}{8} \quad /5/$$

W sieci tego rodzaju liczby łączy pomiędzy dwiema stacjami jakiegokolwiek pary, to znaczy liczba łączy w relacji wynosi:

$$n = \frac{2n_{sat}}{N/N-1} \quad /6/$$

gdzie n_{sat} = całkowita przepustowość satelity /liczona w łączach dwukierunkowych/.

^{x/} Wzór /5/ jest ścisły, jeśli N jest nieparzyste i daje wartość przybliżoną, jeśli N jest parzyste.

Wzory /4/, /5/ i /6/ pokazują, że jeśli $N \gg 1$, przepustowość n_{li} linii ziemskiej nie zależy już od liczby stacji w sieci:

$$n_{li} \approx \frac{N}{4/N-1} \quad n_{sat} \approx \frac{1}{4} n_{sat} \quad /7/$$

Wykażemy jeszcze, że w przypadku sieci pierścieniowej /rys.3/ średnia długość łącza wynosi:

$$\bar{L} = \frac{N+1}{4} l \quad /8/$$

gdzie l stanowi długość odcinka linii równoważnej pomiędzy dwiema sąsiadującymi stacjami.

Przyjmijmy, że system kosmiczny i system ziemski o równoważnej przepustowości /to znaczy o takiej samej liczbie łączy pomiędzy stacjami/ są jednocześnie równoważne pod względem ekonomicznym, to znaczy ich koszty roczne są takie same:

$$C_{sat} = C_{ter} \quad /9/$$

lub

$$C_{sat} = \varphi / n_{sat}, N/$$

$$C_{ter} = \varphi / N, n_{li}, l/ \quad /10/$$

i że w przypadku systemu pierścieniowego

$$C_{ter\Sigma} = 1 Nq / n_{li}/ \quad /11/$$

gdzie

$q / n_{li}/$ - koszt na jednostkę długości linii ziemskiej, w funkcji liczby łączy, jaką ona zawiera.

Z drugiej strony q zależy od struktury łączy równoważnej sieci ziemskiej, to znaczy od udziału, jaki mają w tej sieci arterie o nowoczesnej konstrukcji i od stopnia, w jakim relacje zostały ulepszone przez zainstalowanie nowych urządzeń /element ten reprezentowany jest przez współczynnik β /.

Z zależności /9/ i /10/, to znaczy dla rys. 3, otrzymujemy:

$$l_{eq} = \frac{C_{sat}}{N \cdot q / n_{li}} \quad /12/$$

Jeśli zastosujemy /8/, otrzymamy długość relacji sieci równoważnej pod względem ekonomicznym:

$$\bar{L}_{eq} = \frac{C_{sat} / N+1 /}{4 N q / n_{li}, \beta /} \quad /13/$$

gdy tymczasem stosując /4/ i /5/, można nadać zależności /13/ postać następującą:

$$\bar{L}_{eq} = \frac{2 C_{sat} K_{gr}}{N / N-1 / \eta / n_{li}, \beta /} \quad /14/$$

W ten sposób, jeśli wymagane rozmieszczenie stacji jest takie, że średnia odległość między nimi $[l]$ jest mniejsza od odległości równoważnej l_{eq} , lub jeśli średnia długość relacji \bar{L} jest mniejsza niż równoważna długość relacji L_{eq} , korzystniejsza jest budowa ziemskiej sieci telekomunikacyjnej, gdyż całkowity koszt takiej sieci $C_{ter \Sigma}$ jest mniejszy niż nakłady, jakie należałoby ponieść na system satelitarny C_{sat} .

Jeśli $\bar{L} > l_{eq}$, to korzystniejsze jest wybudowanie satelitarnej sieci telekomunikacyjnej.

Łatwo jest wyrazić $q/n/$ w funkcji zależności pomiędzy procentowym udziałem urządzeń nowoczesnych i procentowym udziałem urządzeń zmodernizowanych, jeśli się weźmie pod uwagę, że na pewnej części l' całkowitej długości relacji równoważnej wszystkie łącza są utworzone wyłącznie za pomocą urządzeń nowoczesnych, zaś w innej części l'' - za pomocą istniejących urządzeń zmodernizowanych; otrzymamy wówczas:

$$\beta = \frac{l'}{l' + l''} \quad /15/$$

W rezultacie

$$q/n_{li}, \beta / = \beta q'/n_{li} / + /1 - \beta / q''/n_{li} / \quad /16/$$

gdzie:

q' = koszt na jednostkę długości linii o zdolności przepustowej n_{li} wyposażonej w urządzenia nowoczesne,

q'' = odpowiedni koszt jednostkowy w przypadku linii zmodernizowanej.

Nie trzeba zapominać, że q'' jest funkcją nie tylko n_{li} , ale również całkowitej liczby łączy w zmodernizowanej relacji ziemskiej.

Zwykle w systemie satelitarnym relacje telefoniczne tworzą układ pierścieniowy.

Załóżmy, że taka sama liczba programów telewizyjnych n_{TV} przekazywana jest do wszystkich stacji pierścienia, które zapewniają jednocześnie łączność telefoniczną, jak i do stacji, które umożliwiają tylko odbiór programów telewizyjnych w liczbie N_{TV} . W tym przypadku nakłady na sieć ziemską wyniosą:

$$C_{\text{ter}} = \bar{l}_{\text{TF}} N_{\text{TF}} q / n'_{\text{li}} / + l_{\text{TV}} N_{\text{TV}} q / n_{\text{TV}} / \quad /17/$$

gdzie:

\bar{l}_{TF} = długość odcinka pomiędzy sąsiadującymi stacjami telefoniczno-telewizyjnymi rozmieszczonymi na obwodzie pierścienia,

N_{TF} = liczba tych stacji,

$n'_{\text{li}} = n_{\text{li}} + k_1 n_{\text{TV}}$ = całkowita zdolność przepustowa sieci stacji telefoniczno-telewizyjnych,

k_1 = liczba kanałów telefonicznych równoważna jednemu kanałowi telewizyjnemu /w wielu przypadkach, $k_1 = 600/$,

\bar{l}_{TV} = średnia odległość pomiędzy stacjami wyłącznie telewizyjnymi a pierścieniem albo jakimkolwiek innym ziemskim źródłem programów telewizyjnych,

N_{TV} = liczba stacji wyłącznie telewizyjnych.

Wzór /17/ pozwala na określenie \bar{l}_{TV} dla sieci ziemskiej równoważnej pod względem ekonomicznym, jeśli założono pewną wartość

$$\bar{l}_{\text{TV}} \text{ lub } \lambda = \frac{\bar{l}_{\text{TV}}}{\bar{l}_{\text{TF}}} .$$

Obliczenia przeprowadzono za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej, wykorzystując podane wyżej zależności, jak również w oparciu o wartości średnie lub ogólne kosztów i stosując pewne założenia związane z charakterystykami prawdopodobieństwa tych danych [2].

Rysunek 4 przedstawia koszty jednostkowe systemu satelitarne-

go C_{sat} w funkcji współczynnika przydatności G/T dla sieci telefonicznej. Jest oczywiste, że funkcje te przechodzą przez pewne minimum, jeśli dla zwiększenia liczby stacji w sieci okazuje się ekonomiczne przewidzenie większej mocy nadajnika satelity. Tym samym, jeśli liczba stacji się zwiększa, optymalna z punktu widzenia ekonomicznego wartość G/T się zmniejsza. Tak więc dla $N=10$ uzasadnione jest ekonomicznie przyjęcie wartości G/T 33 dB. Z rysunku 2 wynika, że wskazane jest zastosowanie w tym przypadku wzmacniaczy parametrycznych chłodzonych helem $/T_b \approx 20^\circ\text{K}/$ i anteny o średnicy około 12 m. Oznacza to na ogół, że minimalny koszt satelitarnego systemu łączności telefonicznej można otrzymać stosując stosunkowo kosztowne stacje naziemne i wzmacniacze wejściowe o temperaturze szumów możliwie jak najniższej. Spowodowane to jest faktem, że znaczny koszt sektora kosmicznego systemu pozwala na uzyskanie dużej zdolności przepustowej systemu w rozmaitych kierunkach transmisji. Z tego powodu koszt wzmacniacza o małym poziomie szumów nie odgrywa istotnej roli, gdyż zwiększenie zdolności przepustowej, jakie można uzyskać przez obniżenie temperatury szumów, pozwala w rezultacie na zmniejszenie kosztu łączy.

Inaczej jest w przypadku sieci zawierającej znaczną liczbę stacji odbiorczych przeznaczonych do retransmisji programów radiofonicznych i telewizyjnych.

Krzywe kosztów /w jednostkach względnych/ sieci pierścieniowej w funkcji współczynnika przydatności stacji przedstawione są na rys. 5. Są one wykreślone dla systemów zawierających rozmaite liczby stacji. Wraz ze wzrostem liczby stacji wartość optymalna G/T zmniejsza się znacznie. W takich przypadkach należy sto-

sować wzmacniacze wejściowe o wyższej temperaturze szumów, tańsze i prostsze, jak również mniejsze anteny. W ten sposób dla $N = 100$ jest ekonomicznie uzasadnione stosowanie dwustopniowego wzmacniacza parametrycznego, bez chłodzenia $/T_b \approx 160^\circ$ do $180^\circ\text{K}/$ i anten o średnicy 4 do 5 m.

Z rysunku 6 widzimy, jak w systemie satelitarnej łączności telefoniczno-telewizyjnej efektywność ekonomiczna systemu wzrasta bardzo szybko wraz ze wzrostem N_{TV} stacji; dla równoważnej sieci ziemskiej średnia odległość od źródła programu zmniejsza się bardzo szybko /rys. 7/.

Na rysunku 8 podane są rezultaty obliczeń odległości 1 pomiędzy stacjami sąsiadującymi równoważnej sieci ziemskiej i średniej długości relacji w tej sieci w funkcji liczby N stacji telefonicznych.

Należy zauważyć, że jeśli 1 się zmniejsza, gdy liczba stacji się zwiększa, to znaczy w przypadku, gdy stacje systemu kosmicznego lokalizowane są bliżej siebie bez zmniejszenia efektywności ekonomicznej systemu, otrzymuje się zwiększenie średniej długości odcinków pomiędzy parą stacji.

Rysunek 8 zawiera krzywe dla rozmaitych wartości współczynnika β , odpowiadające liczbie nowych urządzeń. Widzimy, że jeśli byłoby możliwe utworzenie sieci ziemskiej przez modernizację wyposażenia istniejących relacji /co odpowiada małym wartościom współczynnika β /, utworzenie systemu łączności satelitarnej byłoby uzasadnione z punktu widzenia ekonomicznego jedynie w przypadku, gdyby odległości pomiędzy stacjami były znaczne.

Należy zauważyć, że krzywa 1 opada wolniej niż wzrasta wartość N , to znaczy, że wymiary równoważnego pierścienia wzrasta-

ją wraz z N . Oznacza to, że na terytorium o danych wymiarach może się okazać ekonomicznie uzasadnione zainstalowanie tylko ograniczonej liczby stacji.

Wpływ pierścieniowej konfiguracji systemu telewizyjnego na parametry pierścieniowej sieci telefonicznej przedstawiony jest na rys. 9.

Rezultaty przedstawione na tym rysunku dotyczą przypadku, gdy $N = 20$ i $\beta = 1$; z drugiej strony jako parametr przyjęto stosunek $\lambda = \frac{l_{TV}}{l_{TF}}$. Instalowanie stacji w rejonach oddalonych, które wyraża się zwiększeniem parametru λ , daje poważne korzyści ekonomiczne i uzasadnia z tego punktu widzenia budowę stacji mieszanych telefoniczno-telewizyjnych przy mniejszych odległościach. W ten sposób przyjęcie systemu mieszanego uzasadnione jest dla mniej rozległych terytoriów lub gdy sieć ziemską dysponuje znacznymi rezerwami zdolności przepustowej $/\beta < 1/$.

Do tej pory nie rozpatrywaliśmy jeszcze wpływu zmian zdolności przepustowej systemu satelitarnego na jego efektywność ekonomiczną. Tymczasem można przypuszczać, że wpływ ten jest znaczny, biorąc pod uwagę, że zwiększenie liczby łączy pociąga za sobą zmniejszenie nakładów inwestycyjnych w przeliczeniu na jedno łącze.

W obliczeniach tych przyjęto, że zdolność przepustowa satelity wzrasta w wyniku zwiększenia liczby jego kanałów radiowych pod warunkiem, że zdolność przepustowa każdego kanału radiowego zostanie utrzymana.

Rezultaty obliczeń, które odpowiadają krzywym ciągłym na rys. 10, przedstawiają nakłady inwestycyjne na kanał P_1 w funkcji cał-

kowitej liczby kanałów systemu satelitarnego łączności telefonicznej. Jak można było oczekiwać, krzywe opadają gwałtownie wraz ze wzrostem zdolności przepustowej. Lewa część krzywych odnosi się do przypadku, w którym dewiacja częstotliwości na kanał f_{ev} jest optymalna z punktu widzenia mocy [5], to znaczy odpowiada ona uzyskaniu stosunku sygnału do szumów, wymaganego dla pracy w pobliżu wartości progowej rzeczywistego demodulatora dla modulacji częstotliwościowej bardzo mało wrażliwej na szumy. Łatwo jest wykazać [3], że w pasmie częstotliwości Δf_{Σ} przeznaczonym dla łączności satelitarnej i aktualnie eksploatowanym można zmieścić liczbę kanałów radiowych:

$$n_c \approx \frac{\Delta f_{\Sigma}}{f_{ev} \cdot 2 \cdot (1 + \xi) \cdot e^{b_0}} \quad /18/$$

gdzie:

b_0 = różnica /w neperach/ pomiędzy maksymalnym poziomem sygnału wielokrotnego a zmierzonym poziomem jednego kanału:

$$\xi = \Delta f_g / \Delta f_c \quad /19/$$

Δf_g = pasmo ochronne pomiędzy kanałami,

$\Delta f_c \approx 2 f_{ev} e^{b_0}$ = pasmo częstotliwości jednego kanału.

Tak więc w celu uzyskania określonej zdolności przepustowej należy przewidzieć liczbę kanałów większą od obliczonej na podstawie wzoru /18/, trzeba więc wybrać dewiację częstotliwości mniejszą od wartości optymalnej z punktu widzenia mocy. Koszt systemu

wypada wtedy wyższy i, jak to widzimy w prawej części rys. 10, krzywe stają się mniej nachylone.

Jeśli zwiększy się liczbę stacji N systemu, a jego zdolność przepustowa pozostanie stała, koszt w przeliczeniu na 1 kanał wzrasta prawie liniowo; wszelka nieliniowość wynikająca ze zwiększenia N spowodowana jest zmianą kosztów satelity wskutek przyjęcia parametrów mocy optymalnych z punktu widzenia ekonomicznego. Wykres na rys. 11 przedstawia jeden z wyników tej "optymalizacji": krzywą wartości optymalnej współczynnika przydatności stacji naziemnej w funkcji liczby stacji dla rozmaitych zdolności przepustowych.

Jeśli zwiększa się zdolność przepustową systemu łączności satelitarnej, należy wybrać wartość G/T nieco większą w celu uniknięcia gwałtownego wzrostu kosztów satelity wielokanałowego o dużej mocy.

Jeśli wkracza się w obszar ograniczenia przez szerokość pasma /górną krzywa na rys. 11/, to znaczy, jeśli wybierze się dewiację częstotliwości mniejszą od wartości optymalnej z punktu widzenia mocy, dochodzi się do o wiele wyższych wartości optymalnych dla współczynnika przydatności stacji.

Jeśli porównuje się wskaźniki ekonomiczne systemu satelitarnego ze wskaźnikami sieci ziemskiej, należy zdawać sobie sprawę z faktu, że w sieci ziemskiej koszt jednego kanału zmniejsza się równie szybko, jeśli zdolność przepustowa relacji wzrasta. To zmniejszenie można wyrazić w sposób bardzo ogólny za pomocą wyrażenia

$$P'_1 = \frac{\alpha}{n_{li}^{0,7}} \quad /20/$$

Aby móc porównać w sposób wygodny koszty w przeliczeniu na 1 kanał w systemie satelitarnym $/P_1/$ i w równoważnej sieci ziemskiej $/P_1'/$, należy przedstawić zależność $/20/$ na rys. 10. Trzeba wówczas uwzględnić dwa warunki: przede wszystkim w systemie łączności satelitarnej koszt w przeliczeniu na 1 kanał zależy od zdolności przepustowej n_{sat} satelity, gdy tymczasem dla równoważnej relacji ziemskiej zależy on od zdolności przepustowej n_{li} tejże relacji.

Pomiędzy tymi dwiema zdolnościami przepustowymi istnieje pewna zależność, która wyraża się wzorem $/7/$ dla stacji rozmieszczonych na obwodzie pierścienia.

To właśnie jest przyczyną, dla której jeśli naniesie się zależność $/20/$ na rys. 10, skala osi odciętych musi zostać odpowiednio zmieniona, to znaczy podzielona przez 4, gdy $N \gg 1$ /na przykład w punkcie $n_{\text{sat}} = 10000$ należy wziąć P_1' dla $n_{\text{li}} = 2500/$.

Z drugiej strony, koszt w przeliczeniu na 1 kanał w sieci ziemskiej jest funkcją długości relacji i należy określić, jaki należy zastosować parametr spośród tych, które charakteryzują tę długość.

Jeśli wyrazimy koszt całkowity systemu łączności satelitarnej za pomocą wyrażenia:

$$C_{\text{sat } \Sigma} = n_{\text{sat}} P_1 / n_{\text{sat}}, N/ \quad /21/$$

i koszt całkowity sieci ziemskiej za pomocą wyrażenia:

$$C_{\text{ter } \Sigma} = n_{\text{li}} l_{\Sigma} P_1' / n_{\text{li}}/ \quad /22/$$

i jeśli odniesiemy go do warunków równoważności ekonomicznej $/9/$, otrzymamy:

$$n_{\text{sat}} P_1 / n_{\text{sat}, N} = n_{\text{li}} l_{\Sigma} P'_1 / n_{\text{li}} \quad /23/$$

gdzie

$$P_1 = \left[1 \frac{n_{\text{li}}}{n_{\text{sat}}/N} \right] P'_1 / n_{\text{li}} \quad /24/$$

Wykorzystując /8/ otrzymamy o wiele wygodniejszą zależność:

$$P_1 / n_{\text{sat}, N} = L_{\text{eq}} P'_1 / n_{\text{li}} \quad /25/$$

Nanosimy więc na oś rzędnych iloczyn kosztu 1 km łącza w relacji ziemskiej przez średnią długość relacji pomiędzy dwiema stacjami.

Zależność /25/, której sens fizyczny jest zupełnie jasny, stanowi podstawę wszelkich porównań ekonomicznych pomiędzy systemami. Należy zauważyć, że zależność ta jest prawdopodobnie ważna dla dowolnej konfiguracji ziemskiej sieci równoważnej.

Na podstawie wzoru /25/ naniesiono na rys. 10 funkcje LP'_1 /krzywe przerywane/ dla rozmaitych wartości \bar{L} . Za pomocą rys. 10 dla każdej wartości n_{sat} i N można znaleźć wartość L_{eq} , biorąc pod uwagę punkty przecięcia krzywych ciągłych i przerywanych. W ten sposób dla $N = 20$ i dla $n_{\text{sat}} = 1000$ do 4000 kanałów, $L_{\text{eq}} = 10000$ do 12000 km, to znaczy, że równoważna odległość pomiędzy sąsiadującymi stacjami sieci ziemskiej w formie pierścienia wynosi 2000 do 2500 km.

Rysunek 10 pokazuje dość wyraźnie, że stopień zmniejszenia kosztu w przeliczeniu na 1 kanał w funkcji zwiększenia zdolności przepustowej jest prawie taki sam dla relacji kosmicznych, jak i dla relacji ziemskich, jak również parametry równoważnej sieci

ziemskiej nie są zbyt ściśle związane z wymaganą wartością zdolności przepustowej systemu łączności satelitarnej.

Do tej pory badaliśmy przypadek, gdy stacje systemu łączności satelitarnej rozmieszczone są na obwodzie pierścienia; wybraliśmy go nie tylko ze względu na jego prostotę i ze względu na to, że warunki są w tym przypadku identyczne dla wszystkich stacji, ale również dlatego, że stacje usytuowane są względem siebie w maksymalnej odległości dla danego promienia obszaru na powierzchni kuli ziemskiej "oświetlonego" przez nadajnik pokładowy satelity. Jednak wyniki tych obliczeń mogą być z łatwością wykorzystane dla innego usytuowania stacji lub innych konfiguracji sieci równoważnej, jeśli zastosujemy inne wartości współczynnika grupowania. W ten sposób dla usytuowania stacji w układzie łańcuchowym współczynnik grupowania zależy od odcinka. Dla i -tego odcinka wynosi on:

$$K_{gr} = i / N-1 / \quad /26/$$

Dla struktury gwiazdzistej ziemskiej sieci stacji

$$K_{gr} = N-1 \quad /27/$$

Biorąc pod uwagę te wyrażenia, można porównać koszty dla równoważnej sieci ziemskiej usytuowanej w postaci pierścienia dla konfiguracji łańcuchowej lub dla struktury gwiazdzistej /rys.12/.

Rezultaty otrzymane dla stałego promienia strefy pokrycia i stałej zdolności przepustowej satelity podane są na rys. 13 i przedstawiają koszt /w jednostkach względnych/ równoważnej sieci ziemskiej w funkcji liczby stacji w systemie N . W sieci o strukturze gwiazdzistej każde zwiększenie N pociąga za sobą zwiększenie dłu-

gości całkowitej równoważnej sieci ziemskiej i zdolności przepustowej każdej z relacji; jest to przyczyną, dla której koszt jednostkowy dla sieci ziemskiej wzrasta. W przypadku pierścieniowej struktury sieci ziemskiej, począwszy od $N \gg 6$, koszt równoważnej sieci ziemskiej pozostaje praktycznie stały, biorąc pod uwagę, że jeśli N wzrasta, całkowita długość sieci ziemskiej i jej zdolność przepustowa pozostają stałe. W przypadku usytuowania stacji sieci ziemskiej w postaci łańcucha każdy wzrost N pociąga zmniejszenie kosztu sieci ziemskiej ze względu na zmniejszenie zdolności przepustowej dla każdego odcinka równoważnej relacji ziemskiej.

Jeśli przeanalizujemy wyrażenie /18/ i rys. 10, spostrzeżemy jak wielkie znaczenie ma wybór dewiacji częstotliwości optymalnej z punktu widzenia mocy. Aby móc dokonać oceny ekonomicznej wyboru dewiacji częstotliwości, podjęto obliczenia P_1 w funkcji n_{sat} dla różnych wartości dewiacji w jednym kanale $/f_{\text{ev}}/$ za pomocą tego samego algorytmu, to znaczy przy optymalnych parametrach mocy dla każdej wskazanej kombinacji warunków. Wyniki przedstawione są na rys. 14 /krzywe ciągłe/. Na tym samym rysunku naniesiono krzywe przerywane P_1 w funkcji n_{sat} dla stałego stopnia wykorzystania pasma częstotliwości ξ ta wielkość zdefiniowana jest w [19] ; krzywe przerywane nakreślono tylko dla $f_{\text{ev}} \leq f_{\text{ev opt.}}$.

Rysunek 14 pozwala na zorientowanie się co do wielkości wzrostu kosztów, jaki może wynikać z wyboru wartości dewiacji częstotliwości różnej od optymalnej z punktu widzenia mocy. Dla danej wartości ξ , to znaczy dla danej selektywności torów radiowych, każdemu zwiększeniu zdolności przepustowej powyżej pewnej gra-

nicy powinno towarzyszyć zmniejszenie dewiacji częstotliwości na 1 kanał, co prowadzi do mniej gwałtownego zmniejszenia kosztów /vide krzywa przerywana/ niż dla $f_{\text{ev}} = \text{const.}$

W niniejszym artykule określono efektywność ekonomiczną systemów łączności satelitarnej, wychodząc z założenia, że kanały łączności satelitarnej są przydzielone określonym stacjom naziemnym. Studia wykazały, że w systemie łączności satelitarnej wykorzystanie kanałów nie przydzielonych, przy zastosowaniu urządzeń pozwalających określonej stacji na zajmowanie dowolnego z n_{sat} kanałów systemu, pomnaża efektywność systemu 2 do 2,5 krotnie.

WNIOSKI

W artykule niniejszym określono podstawowe parametry mocy najkorzystniejsze z punktu widzenia efektywności ekonomicznej, dla systemów łączności satelitarnej.

Określono parametry sieci ziemskiej telefonicznej i telewizyjnej równoważnej systemowi łączności satelitarnej z punktu widzenia zdolności przepustowej i kosztu.

Wykazano, że w systemie łączności satelitarnej kombinacja sieci telefonicznej i sieci rozdzielczej telewizji o konfiguracji pierścieniowej jest usprawiedliwiona z punktu widzenia ekonomicznego; przeanalizowano wpływ tej kombinacji na parametry sieci równoważnej.

Oszacowano, z punktu widzenia ilościowego, efekt grupowania łączny ziemskich, jak również warunki wyposażenia sieci ziemskiej w przewidywaniu jej równoległego wykorzystania w momencie zain-

stalowania systemu łączności satelitarnej lub w celu zapewnienia połączeń w punktach przejściowych.

Ustalono zależności pozwalające na porównanie systemu satelitarnego i systemu ziemskiego z punktu widzenia kosztu jednostkowego na 1 kanał telefoniczny.

Wykazano, że zwiększenie zdolności przepustowej systemu łączności satelitarnej nie zmienia w sposób zasadniczy efektywności ekonomicznej systemu /w stosunku do sieci ziemskiej/.

Określono wpływ wyboru dewiacji częstotliwości na efektywność ekonomiczną systemu łączności; wykazano znaczenie wyboru dewiacji optymalnej z punktu widzenia mocy i możliwości otrzymania dużej efektywności.

Określono z punktu widzenia ekonomicznego najlepszy typ urządzenia wejściowego o małym poziomie szumów i optymalną średnicę anteny dla stacji dwupłaskowego systemu łączności satelitarnej o konfiguracji pierścieniowej.

WYKAZ LITERATURY

1. Lutz S.G.: Facteurs d'ordre économique qui influent sur les rentabilités respectives des Télécommunications par satellites et des télécommunications de Terre entre points fixes. J. Télécommunications 1969, t. 36 nr 7, s. 317-328.
2. Talyzin N.V., Kantor L.Ja., Manjakin E.A., Payanskij I.M.: Ob optimal'nych parametrach i ekonomičeskoj effektivnosti mnogostacionnoj sistemy sputnikovoj svjazi. Radiotekhnika 1969 t. 24 nr 11, s. 5-13.

3. Talyzin N.V., Kantor L.I., Payanskij I.M.: *Ekonomičeskie aspekty uveličenija propusknj sposobnosti sistemy sputnikovoj svjazi*. Radiotekhnika 1970 t. 25 nr 1, s. 3-8.
4. Cuccia C.L., Teicher S.: *Beam pointing direction of traveling wave arrays*. Microwaves 1969 t. 8 nr 6, s. 86-94.
5. Kantor L.I., Diatchko V.I.: *Ob optimalnom projektirovanii sistem sputnikovoj svjazi s častotnym mnogostancjonnyj dostupom*. Elektrosvjaz' 1969 t. 23 nr 3, s. 27-32.

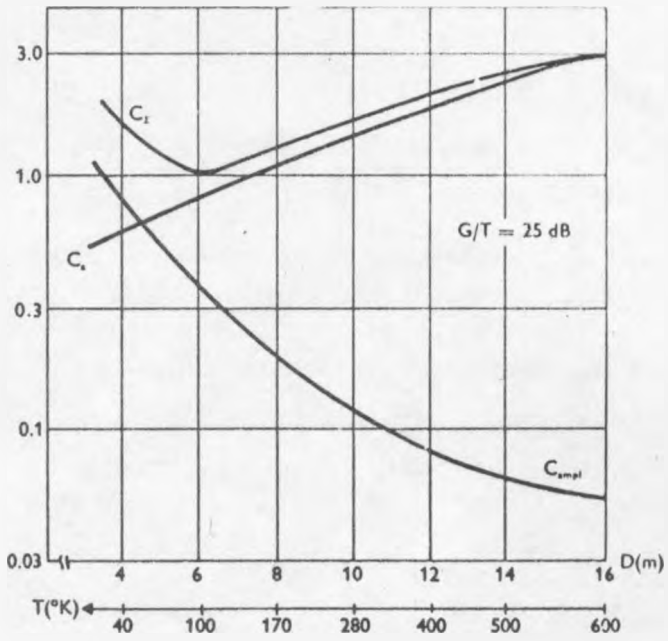


Рис. 1

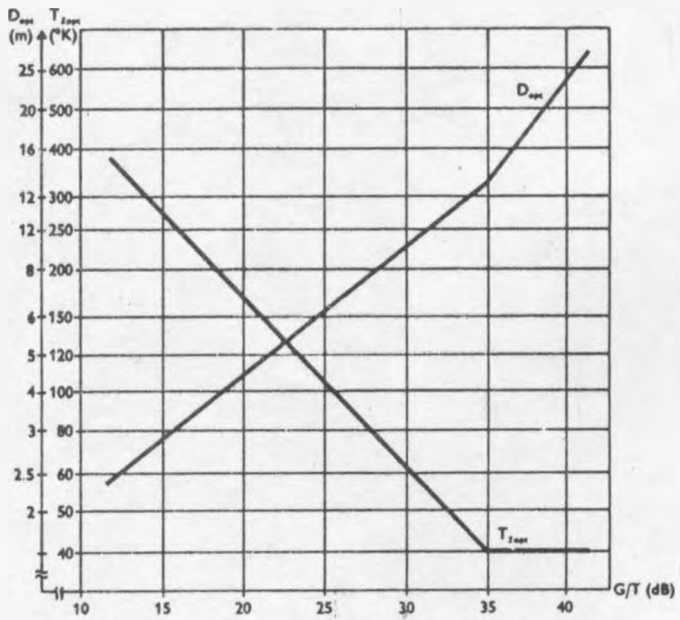
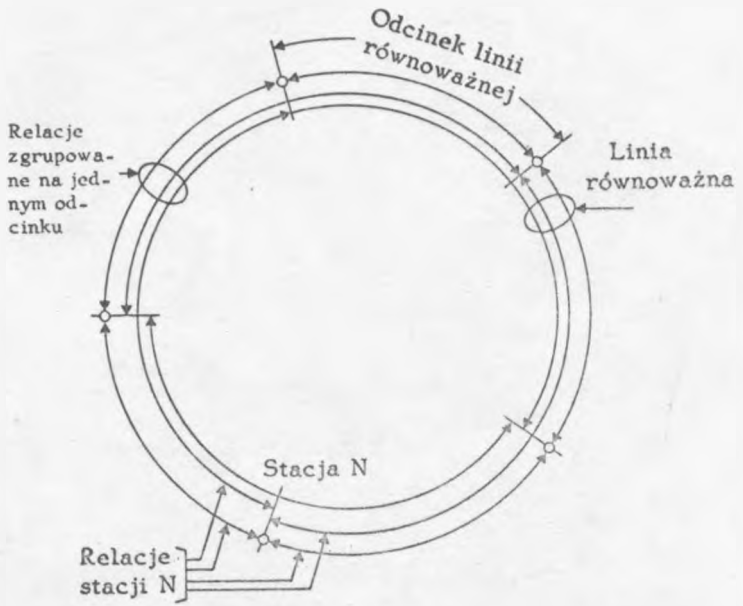
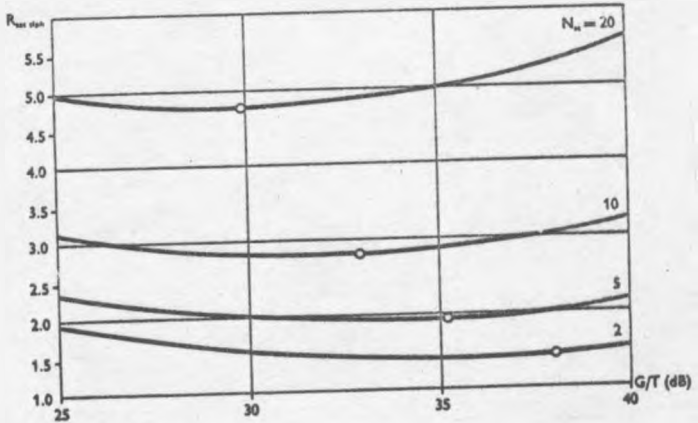


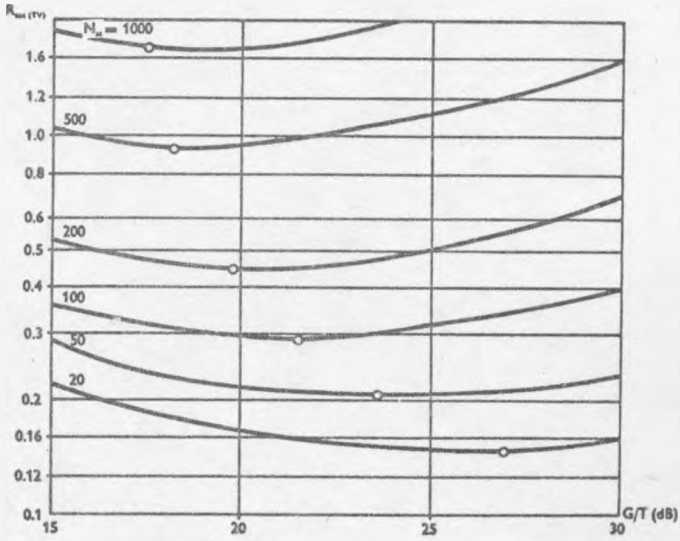
Рис. 2



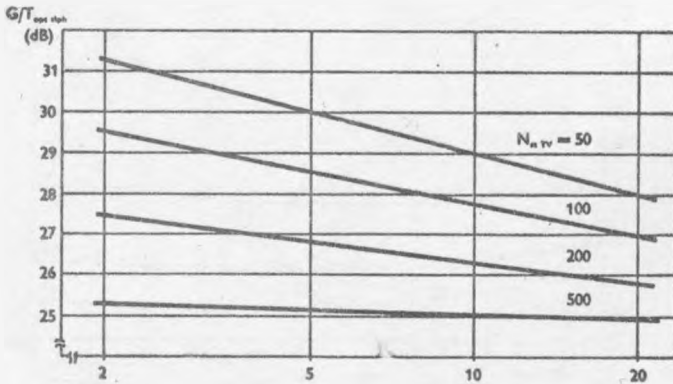
Rys. 3



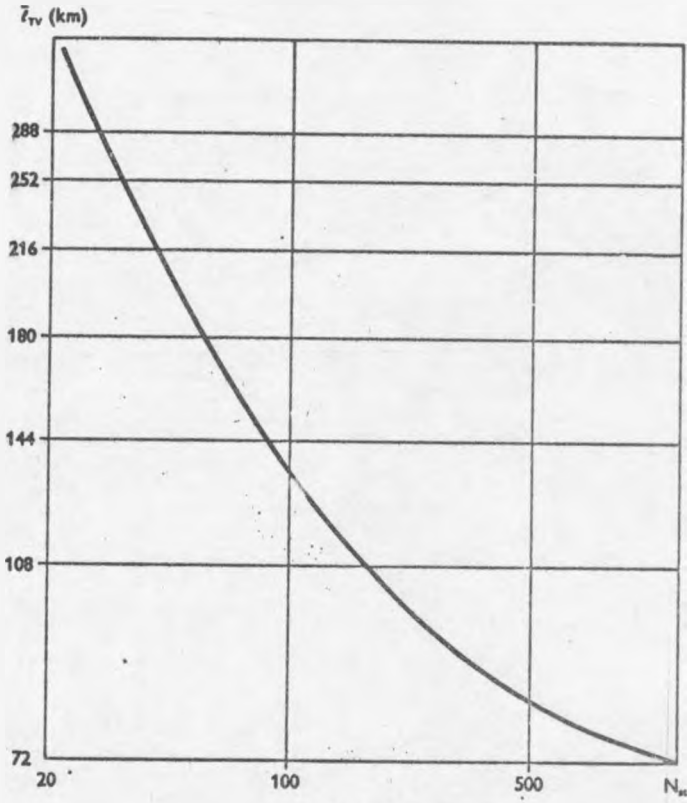
Rys. 4



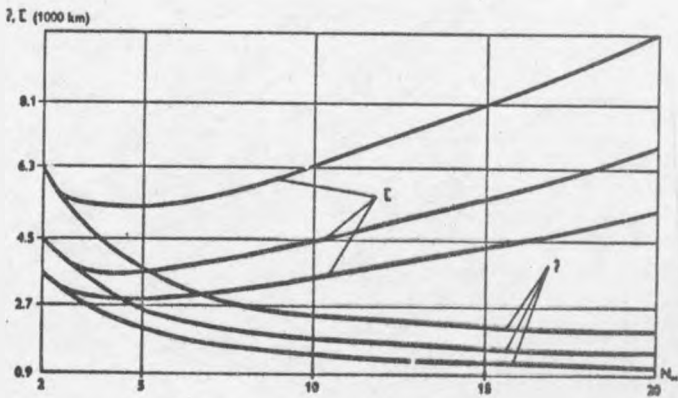
Rys. 5



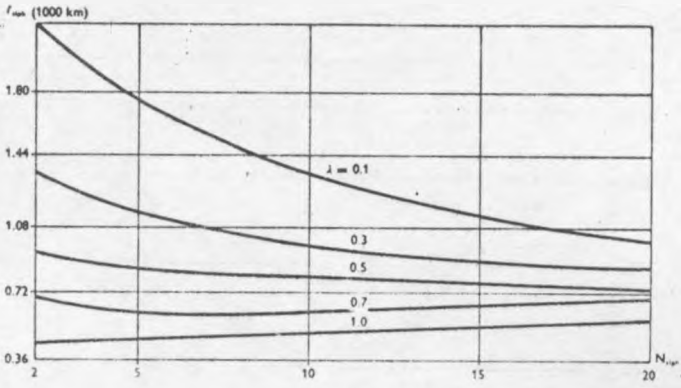
Rys. 6



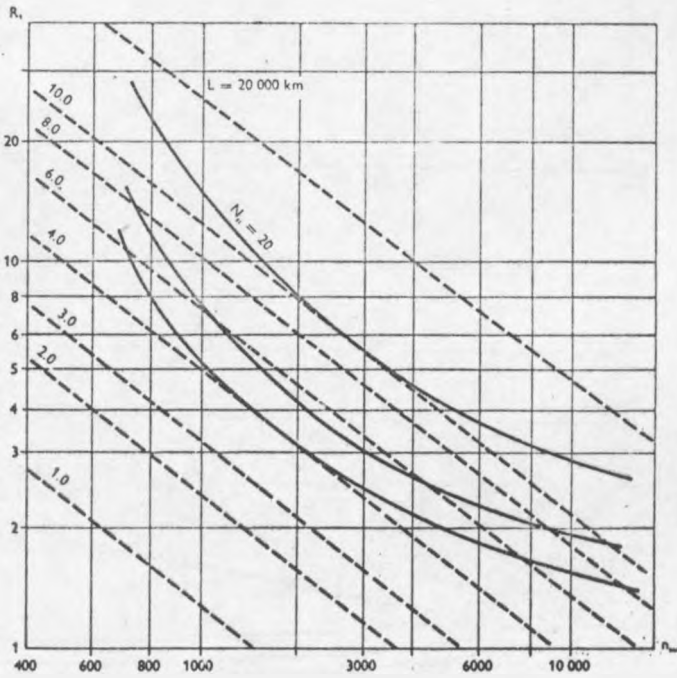
Rys. 7



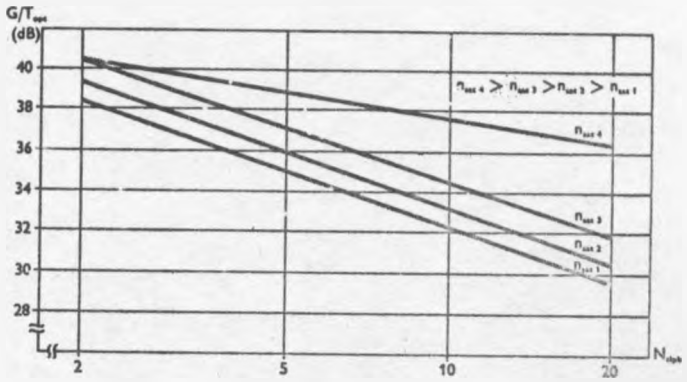
Rys. 8



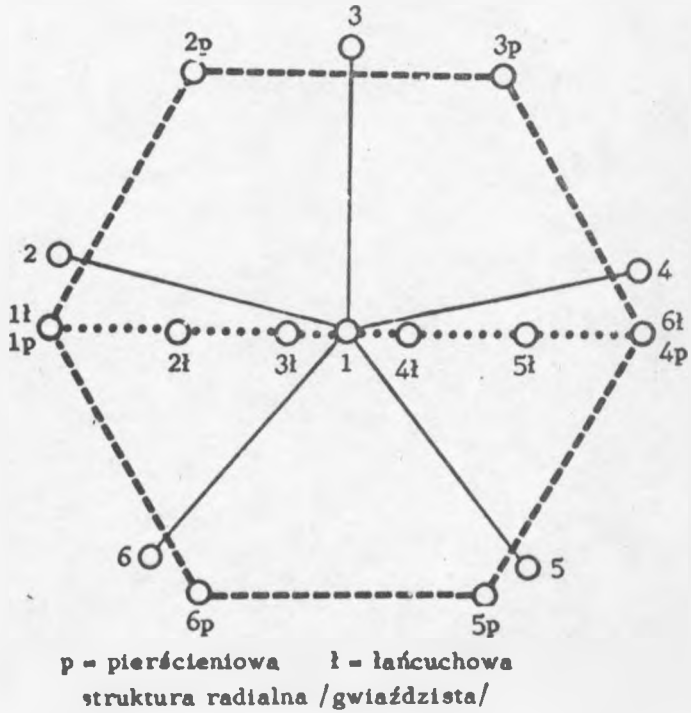
Rys. 9



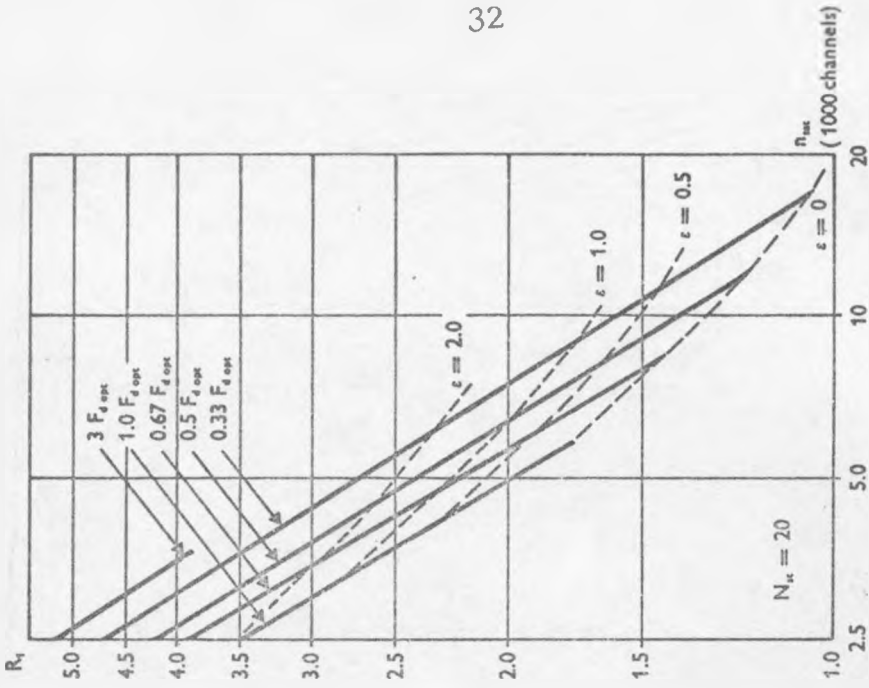
Rys. 10



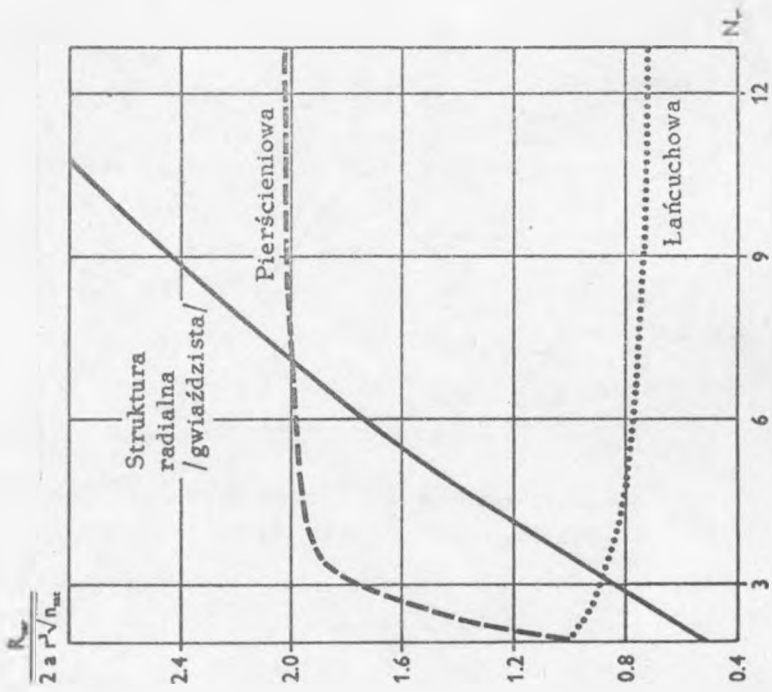
Rys. 11



Rys. 12



Rys. 14.



Rys. 13

ZACHODNIOEUROPEJSKI SATELITARNY SYSTEM TELEKOMUNIKACYJNY

Opracował J. Jakubik na podstawie artykułu J. P. Contzena: The European telephone and television distribution satellite system. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s. 290-295.

1. WSTĘP

Czwarta Sesja Europejskiej Konferencji Kosmicznej /ESC/, która odbyła się w Brukseli w lipcu 1970 r., postanowiła utworzyć w latach 1978-1980 zachodnioeuropejski satelitarny system telekomunikacyjny, który sprostaby zapotrzebowaniu wyrażonemu przez Europejską Konferencję Administracji Poczтовых i Telekomunikacyjnych /CEPT/ i przez Europejski Związek Stacji Radiowych i Telewizyjnych /EBU/.

Europejska Organizacja Badania Przestrzeni Kosmicznej /ESRO/ została poinformowana o konieczności przeprowadzenia, przy współpracy z administracjami telekomunikacyjnymi lub organizacjami prowadzącymi działalność w tej dziedzinie, kompleksowych badań wszystkich aspektów operatywnego satelitarnego systemu telekomunikacyjnego, w celu umożliwienia podjęcia przez ESC odpowiednich decyzji, koniecznych do rozpoczęcia prac typu administracyjnego, oraz zlecenia odpowiednim instytucjom prac badawczych eksperymentalnej części programu satelitarnego.

Praca ESRO skupia się obecnie wokół rozwiązywania zleconych problemów. Określone badania oraz prace zostały zlecone europej-

skiemu przemysłowi, który jest w stałym kontakcie z przyszłymi użytkownikami systemu. Kontakt z użytkownikami został w znacznym stopniu ułatwiony przez powołanie w sierpniu 1970 r. Grupy Roboczej o nazwie "Europejski satelita telekomunikacyjny", działającej w ramach CEPT-u, odpowiedzialnej za dopracowanie systemu przy współpracy z ESRO. W pracach Grupy Roboczej biorą udział także przedstawiciele EBU.

Program prac, ze względu na specyfikę problemu oraz stały rozwój w tej dziedzinie, będzie podlegał w pewnym zakresie ciągłym zmianom zależnie od bieżącej sytuacji.

2. DEFINICJE I CHARAKTERYSTYKI SYSTEMU

2.1. Wprowadzenie

Planuje się, że zachodnioeuropejski satelitarny system telekomunikacyjny rozpocznie pracę najdalej do końca bieżącego dziesięciolecia i uwzględni zapotrzebowanie na łącza wyrażone przez członków CEPT-u oraz EBU.

Ponieważ Administracje Telekomunikacyjne są zainteresowane różnorodnością praktycznych zastosowań systemów łączności, system satelitarny nie będzie mógł całkowicie zająć miejsca istniejących lądowych linii telekomunikacyjnych. Celem systemu jest obsługa ograniczonej - niemniej istotnej - części wewnątrz europejskiego ruchu telekomunikacyjnego w latach osiemdziesiątych. Niemożliwe jest a priori określenie, jaka część ruchu telekomunikacyjnego będzie przekazywana za pomocą systemu kosmicznego, ponieważ można to zrobić tylko przy pełnej znajomości technicznych

i ekonomicznych danych dotyczących różnych dostępnych środków telekomunikacyjnych. Równocześnie trzeba sobie zdawać sprawę, że sami użytkownicy będą decydować, jakimi drogami najlepiej będzie im przekazywać swój ruch telekomunikacyjny w danej chwili.

Wynika z tego, że niniejsza definicja zachodnioeuropejskiego systemu satelitarnego musi być oparta na zestawie prognoz, które w pewnym stopniu podlegają zmianom.

2.2. Dane o ruchu telekomunikacyjnym

System jest przeznaczony do zapewnienia dwóch rodzajów usług:

- usługi telekomunikacyjne - telefon, telegraf i teleks, do których może być dołączona transmisja danych o dużej szybkości,
- transmisje telewizyjne, tj. prowadzenie wymiany programów telewizyjnych w ramach Eurowizji.

Ponieważ przewiduje się, że system będzie pracował w latach 1980-1990, dane systemu muszą być oparte na prognozach dotyczących ruchu telekomunikacyjnego w tym czasie.

A. Telefonia, telegrafia i teleks

Liczba łączy telefonicznych, telegraficznych i teleksowych, jakie można by użytkować, wykorzystując systemy kosmiczne w latach 1980-1990, zależy od następujących parametrów:

- Najmniejszej odległości pomiędzy współpracującymi ze sobą stacjami naziemnymi; wstępne ekonomiczne studia wskazują, że biorąc pod uwagę istniejące sieci telekomunikacyjne pomiędzy sąsiednimi

krajami, wykorzystanie łączy satelitarnych pomiędzy międzynarodowymi węzłami telekomunikacyjnymi jest uzasadnione, z wyjątkiem szczególnych przypadków, tylko przy odległościach przewyższających 800 km w linii prostej.

- Roczne wskaźnika wzrostu ruchu telekomunikacyjnego. Zakłada się, że ruch telekomunikacyjny powiększa się w stałym stosunku, charakterystycznym dla każdej relacji. Wskaźniki wzrostu mogą być obliczone na podstawie Planu Warszawskiego CCITT według prognoz dla 1974 i 1978 r. Jednak jest możliwe, że w przypadku wysokich rocznych wskaźników /od 15 do 20%/ wielkość ta nie pozostanie stała w latach 1980-1990, lecz się trochę zmniejszy.
- Podziału ruchu telekomunikacyjnego pomiędzy sieci ziemskie i kosmiczne. W sprzyjających warunkach ekonomicznych wydaje się rozsądne założenie, że połowa całkowitego ruchu telekomunikacyjnego będzie przesyłana przez satelitę, jednak do stanu takiego dojdzie dopiero stopniowo w latach 1980-1990.

W oparciu o te parametry, uwzględniając niepewność prognoz i możliwe zmiany w doborze praktycznych zastosowań oraz w warunkach ekonomicznych, będą brane następujące podstawowe dane do rozważań:

- średnia krzywa wzrostu liczby telefonicznych, telegraficznych i telexowych łączy przechodzących przez satelitę /połowa całkowitego ruchu/: 6900 łączy w 1980 r., 12600 w 1985 r. i 24000 w 1990 r.;
- "najbardziej pesymistyczna" krzywa wzrostu /1/3 ogólnego ru-

chu telekomunikacyjnego przez satelitę/ : 4600 łączy w 1980 r. ,
8400 w 1985 r. i 16000 w 1990 r.

- "najbardziej optymistyczna" krzywa wzrostu /2/3 ogólnego ru-
chu telekomunikacyjnego przez satelitę/ : 9200 łączy w 1980 r. ,
16800 w 1985 r. i 32000 w 1990 r.

Prognozy te ilustruje graficznie rys. 1^{x/}.

B. Transmisja danych

Oprócz usług telefonicznych, telegraficznych i teleksowych ist-
nieje w Europie zapotrzebowanie na transmisję danych, występu-
jąca niezależnie od telefonicznych, telegraficznych lub szeroko-
pasmowych łączy. Systemy łączności satelitarnej są przystosowa-
ne do transmisji danych i mogą się przyczynić do jej rozwoju. W
sytuacji, gdy korzyści z zastosowania transmisji danych gwałtow-
nie rosną i stosuje się ją w coraz to nowych dziedzinach, niezwy-
kle trudno jest przewidzieć dokładną ilość tego typu usług w latach
1980-1990. W naszych rozważaniach systemu satelitarnego, liczb-
ba łączy potrzebnych do transmisji danych jest zawarta w margine-
sie błędu prognoz telefonicznych, telegraficznych i teleksowych.

C. Telewizja

EBU często wyrażało zainteresowanie systemami transmisji pro-
gramów telewizyjnych za pomocą linii satelitarnych. System sate-
litarny będzie w stanie zastąpić całkowicie ziemskie łącza, obec-
nie używane do transmisji programów telewizyjnych między kraja-

^{x/} Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

mi Europy i między Europą i Pn. Afryką. Planowane jest również rozszerzenie obszaru działalności Eurowizji do pewnych państw członków EBU / Islandia, Liban, Cypr itd. /, gdzie obecnie nie ma urządzeń umożliwiających wymianę programów na żywo.

EBU ocenia, że po 1975 r. dwa kanały telewizji kolorowej wystarczą do pokrycia zapotrzebowania Eurowizji i nie wyklucza, że to zapotrzebowanie wzrośnie poważnie w ciągu następnych lat. Uważa się, że w latach 1980-1990 system satelitarny będzie w stanie zapewnić równoczesną transmisję dwóch programów telewizji kolorowej w systemie PAL lub SECAM wraz z kanałami dźwięku towarzyszącego o wysokiej jakości oraz do 20 kanałów dla komentatorów. Dodatkowo system powinien umożliwiać przesyłanie odpowiedniej ilości sygnałów zdalnego nadzoru i łączności służbowej.

2.3. Obszar obsługiwany przez system satelitarny

Wszystkie kraje obsługiwane przez system satelitarny są położone w "Europejskim Obszarze Rozgłaszania" według definicji Regulaminu Radiowego. Są to:

a/ kraje, których Administracje PTT są członkami CEPT-u i złożyły zapotrzebowanie zarówno na łącza telefoniczne, jak i na łącza do transmisji telewizyjnych,

b/ kraje nie zawarte w a/, ale w których co najmniej organizacja telewizyjna jest członkiem EBU; dla tych krajów usługi będą ograniczone do transmisji telewizyjnych.

Oczekuje się, że system będzie zawierał 30 do 35 naziemnych

stacji satelitarnych, usytuowanych głównie blisko międzynarodowych węzłów telekomunikacyjnych, w tym około 20 stacji dla telefonii i telewizji, kilka stacji tylko dla telefonii oraz mniej niż 10 wyłącznie dla telewizji. Rozmieszczenie tych stacji jest pokazane na rys. 2.

3. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA SATELITARNEGO SYSTEMU TELEKOMUNIKACYJNEGO

3.1. Ograniczenia narzucone systemowi telekomunikacyjnemu

Na posiedzeniu odbytym 17 grudnia 1969 r. Komitet Koordynacyjny Telekomunikacji Satelitarnej /CCTS/ - CEPT-u postanowił, że zachodnioeuropejski system satelitarny będzie wykorzystywał częstotliwości powyżej 10 GHz. Od tego czasu wykonano wiele prac w CEPT, dotyczących rozdziału częstotliwości do tego celu. CEPT poinformował ESRO, że na Światowej Administracyjnej Konferencji Radiokomunikacji Satelitarnej /Genewa 1971/ spróbuje otrzymać akceptację na następujący podział tego zakresu częstotliwości i przydzielenie go dla komunikacji satelitarnej:

- kierunek do stacji naziemnej:

11,450-11,950 GHz, z tym że część zakresu 11,700-11,950 będzie wykorzystywana na zasadzie wyłączności,

- kierunek do satelity:

12,750-13,250 GHz wspólnie użytkowany zakres na równych prawach z ziemskimi służbami.

Taki wybór częstotliwości wywiera znaczny wpływ na projekto-

wanie systemu satelitarnego, a przede wszystkim na następujące zagadnienia:

A. Problemy związane z propagacją w zakresie 12 GHz

W proponowanym zakresie częstotliwości sygnały radiowe przesyłane pomiędzy satelitą i naziemną stacją mogą być narażone, w pewnych okresach czasu, na dodatkowe duże tłumienie, spowodowane głównie przez deszcz. Zjawisko to rzadko udaje się zmierzyć i z tego powodu nie zostało dokładnie ustalone, jaki margines należy założyć przy projektowaniu linii satelitarnych. Błąd, jaki możemy popełnić w związku z tym, może być duży. Wynika to z tego, że wyniki pomiarów przeprowadzonych dla określonego terenu i określonych warunków klimatycznych nie mogą być stosowane dla innych terenów, jak również pomiary te muszą być prowadzone w dłuższym okresie czasu - nawet do kilku lat - aby uzyskać prawidłowy statystyczny obraz zjawiska. Staje się więc konieczne poszerzenie programu pomiarowego, wykonywanego z wykorzystaniem albo nieba jako naturalnego źródła promieniowania, albo satelity zbudowanego specjalnie dla tego celu, jak np. satelita użyty w włoskim programie "Sirio", oraz konieczna jest normalizacja prowadzenia takich pomiarów i koordynacja analizy wyników. Nie mając dokładnych wyników badań, projektanci muszą się niestety pogodzić z dużym marginesem błędu i ryzykiem ekonomicznym związanym z ewentualnym wypłacaniem kar umownych.

B. Szerokość wykorzystywanego zakresu częstotliwości oraz wspólne wykorzystywanie częstotliwości ze służbami ziemskimi

Projekty członków CEPT-u na Światową Administracyjną Konferencję Radiokomunikacji Satelitarnej /WARC-ST/ wskazywały,

że szerokość zakresu częstotliwości dla systemów satelitarnych nie przekroczy 500 MHz zarówno dla kierunku od, jak i do satelity. Część zakresu 500 MHz może być przeznaczona wyłącznie dla komunikacji satelitarnej, ale w tej części zakresu, która będzie wspólnie użytkowana ze służbami ziemskimi gęstość strumienia mocy wielkiej częstotliwości na powierzchni Ziemi będzie musiała być ograniczona do wartości zalecanej w Dokumencie CCIR IV/1062 /New Delhi, 1970 r./ lub do jakiejś innej wartości, która może być ustalona na posiedzeniu WARC-ST dla służb satelitarnych, wykorzystujących częstotliwości powyżej 10 GHz.

C. Wielkości ograniczające wielkość stacji naziemnej

Koszt stacji naziemnej stanowi znaczną część kosztów systemu satelitarnego. Im stacje naziemne są tańsze, tym łatwiej i więcej można ich wybudować, w związku z tym położono nacisk na ograniczenie wielkości i skomplikowania stacji, starając się utrzymać odpowiednią równowagę pomiędzy częścią kosmiczną i naziemną systemu. Dla systemu wykorzystującego częstotliwości około 12 GHz średnica anteny jest ważnym elementem w ustaleniu obu kosztów. Dla badań założono maksymalną średnicę anteny około 15 m, która w połączeniu ze wzmacniaczem parametrycznym, chłodzonym ciekłym helem / $T_{sz} = 40^{\circ}\text{K}$ / daje współczynnik jakości stacji naziemnej /przy ładnej pogodzie/ maksimum 42 dB/ $^{\circ}\text{K}$.

Te parametry powinny być dopasowane do stosunkowo wysokich wymagań na łącza przewidywane do użycia przez zachodnioeuropejski satelitarny system telekomunikacyjny. Wstępna analiza wykazuje, że dla zaspokojenia tych wymagań będzie istniała konieczność

wykorzystywania najnowszych zdobyczy techniki i w związku z tym daje się pierwszeństwo pracom z tym związanym.

3.2. Rodzaje systemów modulacyjnych

Jako rezultat wstępnych badań zostały wybrane do dalszych rozważań dwa rodzaje systemów modulacyjnych, stosowanych w systemach satelitarnych:

a/ modulacja częstotliwościowa fali nośnej z podziałem częstotliwościowym na małej częstotliwości i z uwielokrotnionym dostępem przez podział częstotliwościowy /FDM/FM/FDMA/ ,

b/ modulacja fazowa fali nośnej sygnałem grupowym PCM z uwielokrotnionym dostępem przez podział czasowy /TDM/PCM/PSK/ /TDMA/.

Jeżeli zostaną użyte te systemy modulacyjne, a różne inne wymagania, które leżą u podstaw opracowania systemu /pokrycie obszaru, czułość stacji naziemnej/ pozwolą na użycie satelity typu konwencjonalnego, to znaczy takiego, że pojedyncza antena nadawcza satelity obejmie zasięgiem cały obszar, zaś pasmo 500 MHz zostanie podzielone pomiędzy 12 identycznych urządzeń retransmisyjnych o szerokości pasma 36 MHz każdy - przepustowość systemu wyniesie dwa kanały telewizyjne i 4000 łączy telefonicznych w przypadku zastosowania systemu TDMA i raczej nieco mniejszą liczbę w przypadku systemu FDMA.

Przepustowość ta może się wydać niewystarczająca w świetle spodziewanego wzrostu zapotrzebowania na łączy telefoniczne między 1980 i 1990 r. , jednak należy pamiętać o ograniczeniach opisa-

nych powyżej, które w zasadniczy sposób zmniejszają przepustowość.

Jedną z metod zwiększenia przepustowości jest podwyższenie mocy nadawanej z satelity. To rozwiązanie jest na pewno godne rozważenia, jednak ma ono ograniczone zastosowanie z dwóch powodów. Z jednej strony wzrost mocy nadawanej oznacza wyższe wymagania na aparaturę urządzenia retransmisyjnego oraz na satelitę /potrzeba dużej mocy zasilającej wytwarzanej przez baterie słoneczne/, które mogą być trudne do spełnienia przy ograniczonych możliwościach rakiet wynoszących satelity na orbitę. Z drugiej strony, wzrost mocy nadawanej może pociągnąć za sobą przekroczenie dopuszczalnej gęstości strumienia mocy wielkiej częstotliwości na powierzchni Ziemi, w części zakresu częstotliwości wspólnie użytkowanym ze służbami ziemskimi.

W tym celu muszą być sprawdzone różne warianty użycia takich technik, które zastosowane pojedynczo lub łącznie umożliwią wzrost rzeczywistej i równoważnej przepustowości satelity. Są to:

a/ użycie na satelicie anteny o wąskiej wiązce promieniowania w celu zwiększenia równoważnej mocy izotropowej, wypromieniowanej, w konsekwencji czego również zwiększenia przepustowości informacji przypadającej na jedno urządzenie retransmisyjne. Wąska wiązka promieniowania, której zastosowanie będzie ograniczone głównie dla służb telefonicznych, a których typową cechą jest praca w liniach między dwoma punktami, będzie skierowana w kierunku największych międzynarodowych węzłów telekomunikacyjnych;

b/ powtórne wykorzystanie częstotliwości, które umożliwia użycie więcej niż jeden raz całego zakresu 500 MHz lub jego części,

może w konsekwencji powiększyć rzeczywistą przepustowość satelity. Są dwie metody uniknięcia interferencji w kanale, który jest wykorzystywany więcej niż jeden raz:

- dyskryminacja polaryzacyjna, tzn. użycie dwu ortogonalnych polaryzacji /kołowych lub linearnych/ dla dwu przeciwnych kierunków nadawania i
- wprowadzenie techniki anten o bardzo wąskich wiązках promieniowania i uzyskanie dyskryminacji przez separację kątową tych wiązek;

c/ wykorzystanie specyfiki rozmów telefonicznych z zastosowaniem tzw. techniki interpolacyjnej mówienia, co umożliwia zwiększenie liczby rozmów telefonicznych przy wykorzystaniu tej samej liczby kanałów i w ten sposób zwiększenie równoważnej przepustowości satelity. Metoda ta opiera się na fakcie, że podczas normalnej rozmowy telefonicznej, każdy z dwu kanałów tworzących łącze jest wykorzystywany tylko w połowie czasu. To pozwala na powiększenie przepustowości systemu przez przydzielanie wolnego kanału rozmawiającemu tylko na okres jego wypowiedzi. Metoda ta jest szczególnie korzystna wtedy, gdy jest stosowana w stosunkowo dużych grupach kanałów;

d/ przydzielanie kanałów zgodnie z zapotrzebowaniem, ale nie na stałe, także podwyższa przepustowość satelity. Metoda ta daje duże efekty wtedy, gdy jest stosowana na dużym obszarze w warunkach dużej fluktuacji ruchu telekomunikacyjnego na różnych trasach, dzięki czemu szczyt zapotrzebowania na łącza nie występuje wszędzie w tym samym czasie.

Użycie anteny o bardzo wąskiej wiązce i wielokrotne wykorzystywanie częstotliwości wpływa bezpośrednio na konstrukcję satelity i decyzja zastosowania tych metod musi być powzięta zanim satelita zostanie umieszczony na orbicie. Wykorzystanie specyfiki rozmów telefonicznych i przydzielanie kanałów zgodnie z zapotrzebowaniem umożliwia zwiększenie równoważnej przepustowości satelity - kosztem rozbudowy urządzeń stacji naziemnej - bez bezpośrednich zmian w konstrukcji satelity. Nie jest konieczne wprowadzanie tego w momencie umieszczania satelity na orbicie, ale może być to zastosowane w późniejszym okresie, gdy przepustowość systemu będzie już niewystarczająca.

Badania idą w kierunku określenia jak najbardziej efektywnego wykorzystania tych wszystkich możliwości. Możliwy wzrost przepustowości satelity musi być wyważony z rosnącą złożonością systemu, z pogorszeniem się elastyczności operacyjnej i z ryzykiem wynikającym z wprowadzania nowych technik. Obecnie istnieją poglądy, że należy rozważyć możliwość użycia satelity o przepustowości 10000 do 15000 łączy telefonicznych, telegraficznych i telexowych plus dwa kanały telewizyjne. Taka przepustowość byłaby lepiej dostosowana do potrzeb przyszłościowych. Jeżeli okaże się, że przepustowość ta nie będzie wystarczająca pod koniec lat osiemdziesiątych, to można będzie użyć drugiego satelity umieszczonego w innym miejscu na orbicie stacjonarnej, ale wykorzystującego te same zakresy częstotliwości. System z dwoma satelitami będzie wymagał postawienia dodatkowej anteny na stacjach naziemnych, głównie na tych stacjach, przez które przechodzi duża część ruchu telekomunikacyjnego, dzięki czemu opłacalny będzie wydatek na dodatkową antenę. System ten ma oczywiste zalety wy-

nikające z możliwości wzajemnego zastępowania się satelitów, co ma znaczenie dla poprawienia ciągłości pracy.

4. CHARAKTERYSTYKA STATKU KOSMICZNEGO

Projekt statku kosmicznego musi uwzględniać specyficzne wymagania, a mianowicie:

a/ konieczność dostosowania się do charakterystyk systemu telekomunikacyjnego. Wymaga to zastosowania niezawodnych źródeł zasilania elektrycznego oraz dużej precyzji położenia i sterowania satelity w przypadku wykorzystania na satelicie anteny o wąskiej wiązce;

b/ konieczność zapewnienia ciągłości pracy, a z powodów ekonomicznych zapewnienia wysokiego stopnia niezawodności i długiej żywotności satelity. Dąży się do zbudowania satelity, którego żywotność wynosiłaby 7 lat z prawdopodobieństwem 70%;

c/ konieczność określenia wymiarów zasobnika do umieszczenia satelity w rakiecie. Przewiduje się zastosowanie rakiety typu "Europa-III-B" lub amerykańskiego odpowiednika - "Atlas Centaur".

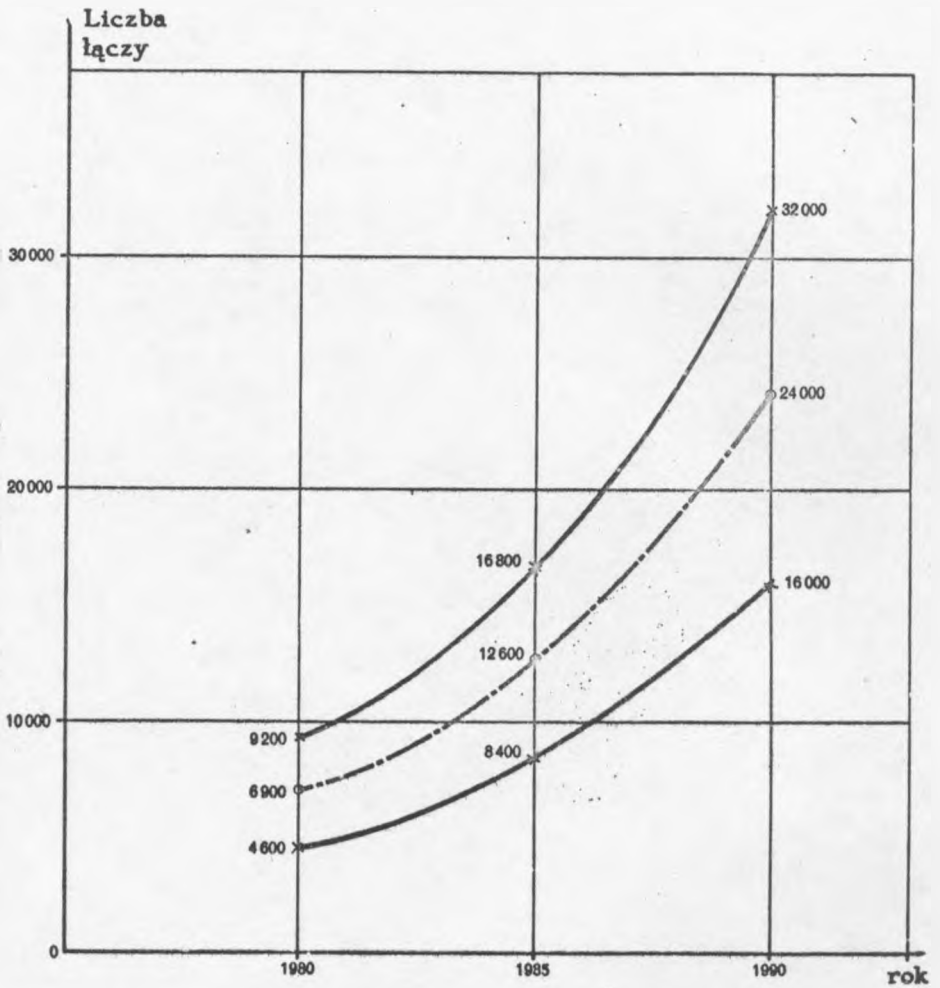
Te względy sugerują wykonanie satelity geostacjonarnego o masie 750 do 800 kg, zasilanego z baterii słonecznych o elektrycznej mocy oddawanej 1 kW, o dokładności stabilizacji położenia około $0,1^{\circ}$, posiadającego urządzenia o wysokiej niezawodności przez stosowanie urządzeń rezerwowych, szczególnie w układach elektronicznych.

Mimo że budowa satelity będzie wymagała znacznego wysiłku tech-

nologicznego ze strony przemysłu zachodnioeuropejskiego, zadanie to jest jednak w pełni wykonalne.

5. PODSUMOWANIE

Prowadzone studia dotyczące zachodnioeuropejskiego satelitarne-
nego systemu telekomunikacyjnego ujawniają duże możliwości, ja-
kie może dać stosowanie nowoczesnych technik telekomunikacyjnych
w łączności satelitarnej. Rozsądne stosowanie tych technik umoż-
liwi zaspokojenie potrzeb przy stałym wzroście ruchu telekomunika-
cyjnego, bez niepotrzebnego marnowania widma częstotliwości. Bę-
dzie to tylko wtedy możliwe, gdy rozszerzy się badania w dziedzi-
nie radiokomunikacji i opracuje odpowiednie regulaminy związane
z przydziałem nowych zakresów częstotliwości, z kryteriami współ-
użytkowania zakresów częstotliwości przez różne służby i z efek-
tywnym wykorzystaniem orbit geostacjonarnych.



Rys. 1. Prognozy ruchu telekomunikacyjnego realizowanego za pomocą satelity

INTEGRACJA SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ Z SIECIAMI OGÓLNYMI

Opracował H. Kalita na podstawie artykułu J. Lalou: Integration of communication satellite systems into the general network. Telecomm. 1971 t. 38 nr 5, s. 306-308.

CO TO JEST INTEGRACJA?

Ogólna sieć telekomunikacyjna pomiędzy stałymi punktami budowana była stopniowo, początkowo przy wykorzystaniu linii napowietrznych, a następnie przy wykorzystaniu kabli /doziemnych lub napowietrznych/. Systemy nośne umożliwiały tworzenie systemów o dużej przepustowości, realizując dużą liczbę łączy telefonicznych lub, w przypadku kabli współosiowych, transmisję sygnałów telewizyjnych. Jakość transmisji i niezmiennosc systemów kablowych w czasie była tego rodzaju, że umożliwiała tworzenie w łączności międzynarodowej szeregu dalekosiężnych łączy o dobrej jakości. Później jakość systemów linii radiowych, odpowiadająca jakości linii kablowych, umożliwiła ich wykorzystanie w łączności dalekosiężnej. Ostatecznie została utworzona faktycznie zintegrowana sieć, w której mogłyby znaleźć zastosowanie różne systemy dla zabezpieczenia potrzeb wszystkich rodzajów służb, przy dużej giętkości i prawie bez ograniczeń; w telefonii operatorzy /lub urządzenia do automatycznego zestawiania połączeń/ mogą zestawiać łącza z wykorzystaniem kabli lub linii radiowych z jednakową łatwością, a abonent nawet nie wie, jaki rodzaj linii wykorzystuje podczas rozmowy telefonicznej.

Jednakże ta zintegrowana sieć nie była jeszcze siecią światową, ponieważ sygnałów telefonicznych nie można było transmitować przez oceany, za wyjątkiem transmisji z wykorzystaniem łączy krótkofalowych, których charakterystyki są nieodpowiednie do włączenia do sieci zintegrowanej. Problem ten nie został rozwiązany do czasu wprowadzenia kabli podmorskich z zatapianymi retranslatorami.

Gdy rozpoczęto eksploatację satelitów telekomunikacyjnych, podjęto próbę bezpośredniego włączenia ich do istniejących sieci. Będziemy kontrolowali osiągnięcia i trudności tego procesu, zaczynając od służby telefonicznej.

Jest rzeczą zrozumiałą, że celem integracji nie jest możliwość zastosowania dowolnego systemu w dowolnych warunkach. Zamienność łączy, oparta na różnych rodzajach systemów, jest pożądana do zapewnienia po pierwsze, aby już na etapie planowania adaptowane systemy były jak najbardziej ekonomiczne i najlepiej nadawały się w każdym przypadku do warunków lokalnych, po drugie, aby operacje przy zestawianiu łączy były możliwie najprostsze.

CHARAKTERYSTYKI TRANSMISYJNE ŁĄCZA TELEFONICZNEGO Z WYKORZYSTANIEM SATELITY

Pierwsze wymaganie wynikające z integracji polega na tym, aby utworzone łącza różnych rodzajów systemów transmisyjnych miały faktycznie te same charakterystyki transmisyjne, czyli aby były mniej więcej zamienne.

Wszystkie satelity telekomunikacyjne znajdujące się aktualnie w eksploatacji profesjonalnej należą do grupy satelitów na orbitach

o dużej wysokości /zarówno satelity geostacjonarne systemu INTELSAT /International Telecommunication Satellite Consortium/, jak i satelity MOŁNIA na tej części orbity, na której są stosowane w służbie telekomunikacyjnej ; pociąga to za sobą występowanie odpowiednio długich czasów transmisji sygnałów. Jednakże ogólny czas propagacji w łączu powinien być ograniczony, w szczególności ze względu na zjawisko echa i niedoskonałe właściwości tłumików echa. Ze względu na graniczne wartości określone w Zaleceniu G.114 /P.14/ Międzynarodowego Doradczego Komitetu Telegraficznego i Telefonicznego /CCITT/ [1] nie powinno się wykorzystywać dwóch satelitów w tym samym położeniu "z wyjątkiem nadzwyczaj szczególnych okoliczności".

Mając to na względzie, nie osiągnięto pełnej integracji, co nie oznacza, że satelity komunikacyjne nie mogą odegrać ważnej roli w sieci światowej, jak to wskazane będzie poniżej. Ze względu na wspomniane ograniczenia, powinniśmy rozważyć tylko jednoskokowe linie satelitarne. Jakość kanałów utworzonych w tego rodzaju liniach jest w większym lub mniejszym stopniu zależna od odległości /która może osiągać 17000 km między dwoma stacjami naziemnymi w szczególnie dogodnych lokalizacjach w odniesieniu do satelity/. W szczególności dopuszczalne obiektywne szумы dla odpowiedniego hipotetycznego łącza odniesienia /CCIR - Międzynarodowy Doradczy Komitet Radiokomunikacyjny, Zalecenie 352-1 i 353-2 [2] nie powinny przekraczać 10000 pW średniej psfometrycznej mocy, z wyłączeniem urządzeń modulacyjnych i demodulacyjnych, lub około 11000 pW, gdy uwzględnia się wymienione wyżej urządzenia; wartość tę przyjęto dla bardzo długich kabli podmorskich o długości około 10000 km lub łączy w liniach radiowych o

długości 3000 km, lub w kablach przy uwzględnieniu wymagania ograniczającego moc szumów do 3 pW na km długości linii /CCITT Zalecenie G.222 i Zalecenie CCIR 393-1/. Wartości szczytowe szumów wytwarzanych w systemie transmisyjnym są takie same jak w liniach radiowych o długości 7500 km /CCITT Zalecenie G.153/; w łączach satelitarnych może występować mniejsza liczba central telefonicznych i z tego względu szumy impulsowe będą mniejsze.

Z wymienionych względów, z punktu widzenia jakości transmisji, satelity telekomunikacyjne szczególnie nadają się do łączności na duże odległości. Gdy odległości są mniejsze od 3000 km, z wielu punktów widzenia łącza ziemskie są lepsze; poniżej pewnej odległości, którą obliczono dla każdej trasy, o długości rzędu 1000 do 1500 km /CCITT Zalecenie G.131/, ziemskie łącza nawet nie wymagają tłumików echa, co jest bardzo poważną zaletą tych łączy.

Jest nadzieja, że skutki opóźnienia transmisji mogą być zmniejszone za pomocą przystosowanych tłumików echa. Zagadnienie opracowania tego rodzaju tłumików echa studiowane jest w szeregu krajów, lecz dotychczas nie zebrano jeszcze zadowolających doświadczeń z tymi urządzeniami, aby zalecić je do praktycznego zastosowania.

PLAN TRAS

Zalecenie Q.13 /E.171/ CCITT opisuje międzynarodowy plan tras dla automatycznego i półautomatycznego ruchu telefonicznego. Zgodnie z tym zaleceniem połączenie powinno być utworzone, o ile jest to możliwe, na najbardziej bezpośredniej trasie.

Systemy satelitów telekomunikacyjnych doskonale nadają się w

tych warunkach, gdy wymagane są łącza bezpośrednie, a odległości są dostatecznie duże, aby przedsięwzięcie takie stało się ekonomiczne [3].

Jednakże grupa łączy bezpośrednich między dwoma centralami międzynarodowymi dopóty nie może być utworzona przy zachowaniu rozsądnych kosztów, dopóki trafik nie osiągnie dostatecznie dużej wartości, a grupy wspomnianych łączy będą wykorzystane w wysokim stopniu. Szczyty trafiku przekraczające przepustowość danej relacji będą mogły być załatwiane jedną z dwóch metod opisanych poniżej.

Klasyczna metoda opisana w Zaleceniu Q.13 zakłada, że sieć z ostatecznie wybranymi relacjami /w kształcie stosu pacierzowego/ tworzy się dla zaspokojenia trafiku, z prawdopodobieństwem małych strat, między dwoma dowolnymi międzynarodowymi centralami telefonicznymi /CT 3/ z możliwością łączenia z pewną liczbą central tranzytowych /CT 2 i CT 1/. Rysunki 1 i 2^{x/} /które stanowią reprodukcję rysunków z Zalecenia Q.13/ wskazują, jaki jest sposób organizacji sieci. Przy takiej metodzie należy przyjąć pewne środki ostrożności w celu zmniejszenia ogólnego czasu opóźnienia transmisji do minimum i w szczególności w celu zapobieżenia występowania łańcucha linii satelitarnych przy realizacji dowolnego łącza. Z tego względu często zdarza się, że grupa użytkowana dla trafiku tranzytowego nie może składać się wyłącznie z łączy realizowanych za pomocą satelitów, nawet jeśli wydaje się, że jest to najlepsze rozwiązanie z innych względów. Są także zastrzeżenia dotyczące stosowania pewnych systemów sygnalizacji.

^{x/} Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

Inna procedura towarzyszy przydzielaniu łączy na żądanie, która może być stosowana tylko przy wyposażeniu zestawów satelitarnych w specjalne urządzenia. Jednym z takich systemów jest system zwany SPADE, który jest obecnie sprawdzany w warunkach eksploatacyjnych. Bezpośrednie łącze może być utworzone między dwoma stacjami naziemnymi danego systemu /przy wykorzystywaniu widzianego przez te obie stacje tego samego satelity/ w czasie trwania wywołania. Metoda ta powinna zapewnić jak największą giętkość operacyjną i możliwość rewizji zasad planu relacji. Jej zalety ekonomiczne badane są w innym artykule.

SYGNALIZACJA TELEFONICZNA

Zalecenie Q.7 określa liczbę systemów sygnalizacyjnych i wskazuje warunki, w jakich CCITT zaleca ich stosowanie w automatycznej lub półautomatycznej służbie telefonicznej. W sieci dostosowanej do istniejącego planu relacji linie satelitarne nie dadzą się pogodzić z niektórym systemem sygnalizacji ze względu na opóźnienie transmisji między dwoma końcami łącza. W obecnych warunkach rozważane są do pracy w łączach satelitarnych tylko system nr 5, a wkrótce i system nr 6.

Satelitarny system przydziału na żądanie powinien mieć własny wewnętrzny system sygnalizacji, który powinien umożliwiać współpracę z systemami stosowanymi w łączach ziemskich. W linii ziemskiej między stacją naziemną pracującą w systemie SPADE a krajową centralą telefoniczną powinno być możliwe stosowanie wszystkich systemów sygnalizacji CCITT.

INNE SŁUŻBY

Systemy sygnalizacyjne zalecane ostatnio dla służby teleksowej tolerują specyficzne cechy łączy satelitarnych.

Nie zawsze są jeszcze znane dokładnie wpływy wartości szczytowych szumów, jakie mogą wystąpić w liniach satelitarnych lub w bardzo długich liniach radiowych, na transmisję sygnałów telegraficznych i transmisję danych.

W transmisji danych wykorzystuje się głównie łącza telegraficzne lub telefoniczne z zastosowaniem kodu detekcji błędów. Jeśli w urządzeniu odbiorczym wystąpi anomalia odbieranego sygnału, wówczas wysłany zostanie zwrotny sygnał żądania powtórzenia bloku, w którym ujawnił się błąd. Metoda ta staje się trudna do zastosowania ze względu na opóźnienia transmisyjne w liniach satelitarnych; rozważa się zastosowanie kodów korekcji błędów.

Międzykontynentalna transmisja sygnałów telewizyjnych przeprowadzana jest zawsze z wykorzystaniem satelitów, chociaż technicznie mogłaby ona być przeprowadzana także z wykorzystaniem ostatnio stosowanych rodzajów bardzo szerokostęgowych kabli podmorskich. Tu problem integracji jest głównie problemem eksploatacyjnym i taryfowym, ponieważ te same satelity mogą być stosowane do zapewnienia kilkuset kanałów telefonicznych. W tym przypadku opóźnienie transmisji nie jest wadą; łatwo jest jednak zapobiec dostrzegalnej różnicy w opóźnieniu transmisji pomiędzy sygnałem wizji a sygnałem towarzyszącego dźwięku, na przykład przez transmitowanie sygnału dźwięku i sygnału wizji za pośrednictwem tego samego satelity.

UTRZYMANIE I NIEZAWODNOŚĆ SŁUŻBY

Zapewnienie sprawnej pracy łączy satelitarnych nie wywołuje specjalnie kłopotliwych problemów z wyjątkiem przypadku stosowania systemu przydziału łączy na żądanie, w którym zestawienie łączy nie jest tworzone na stałe; podobne problemy wynikały już w kablach podmorskich wyposażonych w urządzenia TASI lub inne koncentratory rozmów telefonicznych.

Przerwy łączności w kablach, liniach radiowych i liniach satelitarnych wywoływane są różnego rodzaju przyczynami, tak że nie jest prawdopodobne, aby występowały jednocześnie. Z tego względu, z punktu widzenia niezawodności służby, warto jest rozważyć stosowanie różnych rodzajów środków łączności między dwoma krajami. Zasada ta powinna być realizowana w stosunku do najbardziej obciążonych relacji. Dla krajów o małym wahanii trafiku rozwiązanie to nie jest ekonomiczne, lecz staranny wybór tras zastępczych może zapewnić niezawodność służby przy najniższych kosztach.

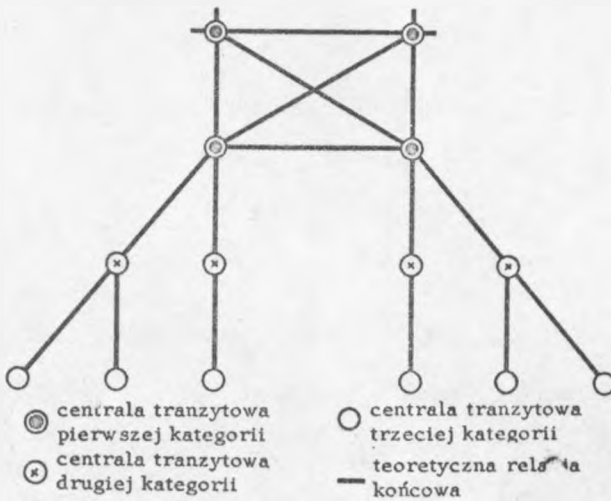
WNIOSKI

Do rozwoju ogólnej sieci telekomunikacyjnej konieczne jest integrowanie coraz bardziej zróżnicowanych systemów. Systemy łączności satelitarnej można obecnie traktować jako zintegrowane z ogólną siecią telekomunikacyjną, chociaż należy zachować pewne ostrożności w ustalaniu tras trafiku telefonicznego. Nie można im odmówić pierwszeństwa w zapewnianiu możliwie najbardziej bezpośrednich łączy na bardzo duże odległości. W odniesieniu do małe-

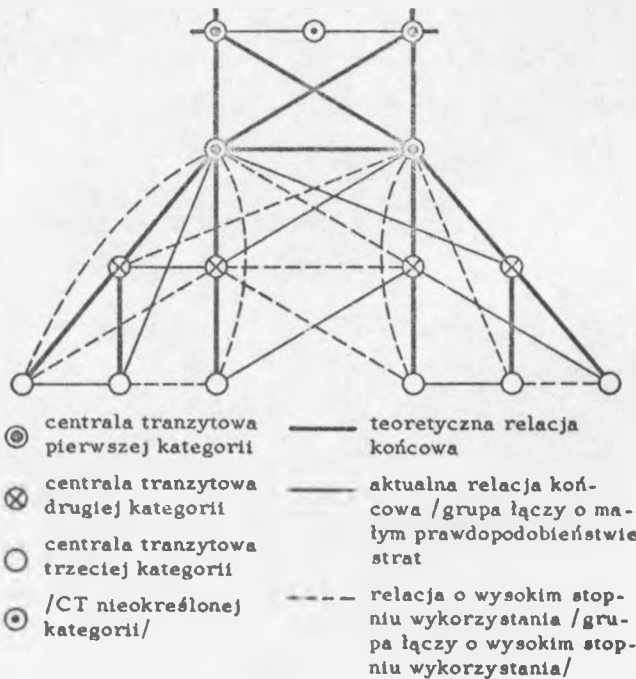
go trafiku te bezpośrednie łącza mogą być zapewnione drogą przydziału na żądanie.

WYKAZ LITERATURY

1. Wszystkie Zalecenia CCITT wspomniane w niniejszym artykule zawarte są w "Białej Księdze" /Mar del Plata, 1968/
Tom III: seria Zaleceń G
Tom V : seria Zaleceń P
Tom VI: seria Zaleceń Q /i część serii E/
2. Wszystkie zalecenia dotyczące łączności satelitarnej zawarte są w:
Tomie IV /2/ XII Plenarnego zebrania CCIR /New Delhi, 1970/
Tomie IV /1/, który zawiera zalecenia dotyczące linii radiowych.
3. Lalou J. : Comparison between communication satellite systems and other transmission systems. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s. 309-313 /następny artykuł J. Lalou zamieszczony w niniejszym numerze/.



Rys. 1. Teoretyczna końcowa struktura relacji /w kształcie stosu pacierzowego/ międzynarodowej sieci telefonicznej



Rys. 2. Przykład aktualnej struktury międzynarodowej sieci telefonicznej

PORÓWNANIE SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ Z INNYMI SYSTEMAMI TELETRANSMISYJNYMI

Opracował H. Kalita na podstawie artykułu J. Lalou: Comparison between communication satellite systems and other transmission systems. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s.309-312.

WSTĘP

Systemy łączności satelitarnej mogą być wykorzystywane do transmisji sygnałów telefonicznych, telegraficznych, transmisji danych oraz sygnałów telewizyjnych i radiofonicznych. Z technicznego punktu widzenia służby tego rodzaju, w przeważającej części, są realizowane w systemach ziemskich za pomocą kabli doziemnych i podmorskich i za pomocą linii radiowych. Wybór systemu oparty jest na wynikach analiz ekonomicznych.

PORÓWNANIE EKONOMICZNE DLA DUŻYCH GRUP BEZPOŚREDNICH ŁĄCZY

Koszt systemu ziemskiego jest z grubsza proporcjonalny do długości linii; z drugiej strony, koszt łącza satelitarnego jest praktycznie niezależny od odległości między stacjami naziemnymi /tak jest, jeśli ograniczymy się do linii jednoskokowych z wykorzystaniem satelity geostacjonarnego, co założono w niniejszym artykule/. Zupelnie naturalna jest próba określenia takiej odległości, po-

niziej której systemy ziemskie będą korzystniejsze, a powyżej której korzystniejsze będą systemy satelitarne, jeśli warunki eksploatacyjne będą podobne do tych, które przedstawiono w niniejszym artykule. Szereg autorów badało teoretycznie przypadki, gdy cały trafik między dwoma krajami mógłby być załatwiany przez N bezpośrednich łączy bądź w pojedynczym kablu podmorskim łączącym te dwa kraje, bądź za pomocą dwóch stacji naziemnych w tym samym systemie satelitarnym.

Rysunek 1^{x/} przedstawia wyniki otrzymane przez różnych autorów w przeprowadzonych ostatnio badaniach.

Poniżej przedstawione zostanie wyjaśnienie zaobserwowanych różnic zasługujących na uwagę.

Wszystkie studia stosują to samo kryterium jako podstawę do porównań, tzn. koszty roczne. Zawarte są w nich zarówno nakłady obejmujące koszty eksploatacyjne i utrzymania systemu, jak i amortyzacji nakładów inwestycyjnych. Z punktu widzenia ekonomii długoterminowej jest to najlepsze kryterium do porównania obu systemów.

Wyniki są ogólnie odniesione do jednego łącza telefonicznego, lecz mogą być zupełnie łatwo adaptowane do innego rodzaju służby.

Ogólnie system kabli podmorskich należy do niewielu administracji /w zasadzie tylko do dwóch - w rozważanym przypadku/, które znają aktualne koszty i mogą osiągnąć bezpośrednie porozumienie w sprawie udziału w pokryciu kosztów; stąd we wszystkich studiach podjęto wysiłki oszacowania aktualnych kosztów systemu kablowego. Podobna kalkulacja może być zastosowana do stacji naziemnej; na-

^{x/} Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

leży też uwzględnić koszty segmentu kosmicznego, które wynoszą $2S$, gdzie S są rocznymi kosztami wypłacanymi właścicielom satelity za użytkowanie połączenia /Ziemia - satelita lub satelita - Ziemia/.

Rysunek 2 przedstawia roczne koszty przyjęte w trzech analizach dla łącza satelitarnego. Można stwierdzić, że te krzywe są bardzo podobne do danych wartości krzywej S . Różnica musi zatem wynikać z ustalonych kosztów rocznych dla kabli podmorskich, jak to pokazano na rys. 3. Krzywe c przedstawiają najnowsze ustalenia dla kabli podmorskich, lecz odnoszą się tylko do trzech typów kabli, których przepustowość łączy jest mniej lub więcej w pełni wykorzystywana. Krzywa b jest wyprowadzona z krzywych wskazanych na rysunkach; całość była opublikowana przez Bell Laboratories Record /luty 1960 r./ jako koszty względne. Zgodzono się [2], że te same wartości mogą być wykorzystane dla kosztów w dolarach za milę łącza, które zwiększono o 30%, aby uwzględnić drogi obejściowe w relacji /co wydaje się niepotrzebne dla kabli podmorskich/. Razem wzięwszy, krzywa b odnosi się do bardzo małego współczynnika zajętości kabla, a zatem prowadzi do nieco przesadzonych kosztów. Z drugiej strony krzywa a, która odnosi się do 100 % zajętości kabli, mogłaby być za optymistyczna.

Ogólna tendencja krzywych z rys. 1 wykazuje, że w rozważanym uproszczonym schemacie linia satelitarna będzie względnie korzystna przy przepustowości około 100 łączy, graniczna odległość wyniesie w tych sprzyjających warunkach około 7000 km i będzie wzrastać ze wzrostem liczby łączy. Porównanie dla małej liczby łączy praktycznie nie jest interesujące, ponieważ można wywnioskować z rys. 1 i 2, że w tym przykładzie oba rodzaje systemów są bardzo

kosztowne; należy zatem, jak zobaczymy, stosować inną procedurę.

PORÓWNANIE EKONOMICZNE DLA MAŁYCH GRUP ŁĄCZY

W normalnych warunkach eksploatacyjnych stacja naziemna może korespondować z całym szeregiem innych stacji przy stosowaniu satelitów z uwielokrotnionym dostępem. Koszty roczne na jedno łącze są wtedy wyrażone następującym ogólnym wzorem [2]:

$$2 \frac{T_o}{N} + \frac{T_r}{N_r} + T_1 + PS/$$

gdzie:

T_o - koszty roczne niezależne od łączy / tzn. składników kosztów rocznych niezależnych od liczby łączy/ dla stacji o przepustowości N łączy,

T_r - koszty na jedną relację o N_r łączach

T_1 - koszty na jedno łącze

S - roczna zapłata na połącza za wykorzystywanie sektora kosmicznego,

P - współczynnik kar stosowany do stacji o obniżonym standardzie

Wartość P jest tego rodzaju, że wykorzystanie tej stacji jest korzystne tylko w bardzo specjalnych przypadkach [2,4]; na przyszłość powinno się zatem założyć, że $P = 1$, co odpowiada standardowi wykorzystywanych stacji INTELSAT o współczynniku charakte-

ryzującym ich jakość /figure of merit/ $\left/ \frac{G}{T} \right/$ równym 40,7 dB.

Stąd otrzymujemy krzywe a na rys. 4, który wskazuje na korzyści płynące z zastosowania uwielokrotnionego dostępu. Należy podkreślić, że porównywalne zalety mogą być uzyskane przez zastosowanie dobrze wypróbowanej metody grupowania łączy w arteriach o dużej przepustowości w połączeniu, jeśli zachodzi potrzeba, z przelączaniem łączy. Tablice 1 i 2 są oparte na dwóch planach wzajemnych połączeń, które zostały przygotowane metodami klasycznymi zanim łączność satelitarna weszła do praktycznego użytku. Plany nie zostały uprawomocnione, co prawda, w wymagany sposób, lecz wpłynęły na to problemy inwestycyjne i postęp techniczny; nie zmniejsza to ich użyteczności w charakterze przykładów obliczeń. W tych tablicach:

Nr - oznacza liczbę bezpośrednich łączy obliczonych z proporcji do trafiku w relacji pomiędzy dwoma krajami,

Nt - ogólną liczbę kanałów telefonicznych w sekcji głównej arterii między tymi dwoma krajami.

Można będzie zobaczyć, że stosunek $\frac{Nr}{Nt}$ może osiągnąć $\frac{1}{3}$, a nawet $\frac{1}{2}$ między sąsiednimi krajami, lecz zazwyczaj jest bliższy $\frac{1}{10}$ lub $\frac{1}{20}$ dla dużych odległości /nawet mimo tego, że rozpatrywaliśmy tylko wartości Nr nie mniejsze od 1/.

Aby osiągnąć międzynarodową wymianę, potrzebne jest stosowanie krajowych arterii o przepustowości N_n ; w sprawnie działającej sieci arteria tego rodzaju realizuje głównie trafik krajowy i N_n jest znacznie większe niż Nr.

Do ogólnych analiz porównawczych nie bierze się pod uwagę kształtów arterii o małej przepustowości stosowanych do łączności między źródłem trafiku a dużymi centralami. Długość tej arterii jest tego samego rzędu co długość arterii między źródłem trafiku a naziemną stacją satelitarną.

Należy podkreślić, że podane w tabl. 1 i 2 liczby łączy Nr są wprost proporcjonalne do przewidywanego trafiku. Jeżeli relacje te były rzeczywiście obsługiwane z wykorzystaniem łączy bezpośrednich, to mała wartość Nr /np. mniejsza od 12/ powinna być zwiększona, uwzględniając małą sprawność tych małych grup łączy.

T a b l i c a 1

Stosunki Nr/Nt w relacjach pomiędzy niektórymi krajami azjatyckimi, zgodnie z przewidywaniami Planu Lahore /1953/ i Planu Genewa /1954/

		Cejlon	Indie	Iran
Pakistan	ogólne	1,1/24		1,07/12
	zach.	0,94 ^{x/}	32/96	0,94 ^{x/}
	w sch.	0,16 ^{x/}	18/60	0,13 ^{x/}
Iran		0,06/24	1,06/12	
Indie		11,3/24		

^{x/} patrz ogólne

T a b l i c a 2'

Stosunki Nr/Nt w relacjach pomiędzy niektórymi krajami Dalekiego Wschodu,
zgodnie z przewidywaniami Planu Tokio /1959/

	Australia	Chiny	Hong-Kong	Indonezja	Japonia	Malazja	Filipiny	Tailand
Wietnam		0,4/24	0,36/24		0,28/24			
Tailand			1/24		0,36/24	0,4/24		
Filipiny	0,07/24	0,08/24	1,3/24	0,1/24	2,2/24			
Malazja	0,2/24	0,03/24	1,8/24	2,7/24	0,23/24			
Japonia	1/24	3,8/36	3,6/24	1/24				
Indonezja	0,03/24		0,5/24					
Hong-Kong	0,24/24	2,3/24						
Chiny								

W praktyce oznacza to, że byłoby potrzebne zastosowanie przełączania łączy lub przydziału łączy na żądanie, na przykład z wykorzystaniem systemu SPADE /informacja z A.M. Werth [5] s.51 do 68/. Stosownie do informacji R.F. Purtina w [5] /s. 355 do 364/ zastosowanie systemu SPADE zwiększa koszty roczne stacji naziemnej o przeciętnej przepustowości o około 3%. W analizach wzrostu tego nie bierze się pod uwagę, mając na względzie dokładność przeprowadzanych obliczeń; krzywe a z rys. 4 stanowią reprodukcję krzywych z artykułu [2]. W przypadku arterii ziemskich stosujemy krzywą d /z rys. 3/, dla której zakłada się, że na początku w liniach tych wykorzystuje się 60% ich przepustowości, zgodnie z klasycznymi metodami stosowanymi dla przewidywanej przepustowości, przyjmując jako odciętą $N_t = N_n = 10 N_r$. Koszty stąd otrzymane będą zwiększone o 50%, biorąc pod uwagę obejścia na trasach arterii o dużej przepustowości i /jeśli będą stosowane/ trasy alternatywne. Stałą sumę 15000 dolarów /USA/ na rok dodaje się za przełączenia, która z pewnym zapasem wydaje się wystarczająca. Wiele administracji europejskich zgadza się z tym, że koszt roczny za interwencje węzłów analitycznych /central tranzytowych wynosi około 7500 złotych franków lub 2500 dolarów za łącze. Stąd otrzymujemy krzywe b na rys. 4. Można spostrzec, że przy przyjętych założeniach i w aktualnych warunkach /S=15000 dolarów rocznie/ zastosowanie arterii ziemskich jest korzystniejsze poniżej około 3000 km dla trafiku w jednym łączu i poniżej 5000 km dla trafiku w 4 łączach. Jeżeli S zmniejszyć do 5000 dolarów na rok, powyższe liczby zwiększą się odpowiednio do 2 i 7 łączy. Naturalnie, że te liczbowe wyniki nie mogą być przyjęte dosłownie i w specjalnych przypadkach powinny być przeprowadzone bardziej

szczególne studia, lecz ostatnio nie słyssało się o klasycznych metodach dotyczących trasy i trafiku. Te metody znajdują zastosowanie dla z góry przydzielanych łączy satelitarnych, jak również dla łączy ziemskich; wybór jest zatem dokonywany zgodnie z kryteriami wg rys. 1, przyjmując jako odciętą N_t / a nie N_r / i fakt, że satelity są korzystniejsze tylko dla bardzo dużych odległości.

OGRANICZENIA PORÓWNAŃ EKONOMICZNYCH

Oprócz kryteriów przyjętych powyżej, a wynikających z zagadnień ekonomicznych mogą być stosowane także inne kryteria. W pewnych sytuacjach inwestycje są ściśle ograniczone i to może być nadrzędnym czynnikiem do podjęcia decyzji. Fakt ten może być uznany, lecz należy jasno sobie zdać sprawę, że tego rodzaju rozważania prowadzą do rozwiązań, które na dłuższą metę nie będą najbardziej ekonomiczne.

Ponadto opłaty tranzytowe ustalone przez administracje mogą być wyższe niż liczby reprezentujące koszty. Porównanie dokonane na podstawie powszechnie stosowanych taryf zostało sprawdzone [1], ale jest bardzo trudno wyciągnąć z tych opracowań jakieś ogólne wnioski. W przyszłości opłaty te powinny zbliżyć się do kosztów, podobnie jak opłaty za wykorzystanie segmentu kosmicznego - w wyniku normalnego współzawodnictwa między różnymi metodami dotyczącymi tras i trafiku.

W przypadku małych grup łączy, dla porównania, zakłada się, że istnieje normalnie rozwijająca się sieć krajowa i sieć właściwie planowanych linii międzynarodowych lub że zainteresowane administracje zgodziły się na ich realizację. Jeśli to nie ma miejsca, to

stacja naziemna z łączami przydzielonymi na żądanie może być jedynym środkiem do realizacji tráfiku. Jednakże w poprzednim porównaniu milcząco założono, że w stacji naziemnej wszystkie łącza są użytkowane /podczas gdy nie zawsze jest to zakładane dla kabli/. Stacja naziemna będzie zdrową ekonomicznie propozycją tylko wtedy, jeśli całkowity tráfik odpowiada mniej więcej jej przepustowości; z drugiej strony będzie konieczne zbadanie możliwości szeregu krajów użytkujących pojedynczą stację i ustalenie wzajemnych połączeń za pomocą ziemskich linii, które będą także wykorzystywane w dużym stopniu do zabezpieczenia tráfiku regionalnego.

Wszystkie porównania ekonomiczne w niniejszym opracowaniu mają charakter ogólny i stosują schematyczne sytuacje. We wszystkich konkretnych przypadkach rozsądne jest wykonanie szczegółowych badań różnych rozwiązań uzyskanych przez zastosowanie metod opisanych w części D wydawnictwa podręcznika "Ekonomiczne i techniczne aspekty wyboru systemu transmisji"^{x/} przygotowanego przez CCITT /Międzynarodowy Telegraficzny i Telefoniczny Komitet Doradczy/ - Autonomiczną Grupę Roboczą GAS 3 i opublikowanego przez Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny /UIT/.

INNE CZYNNIKI

Wybór jednego z wielu różnych systemów teletransmisyjnych jest nie zawsze podyktowany czystymi rozważaniami ekonomicznymi, inne czynniki powinny być także wzięte pod uwagę.

^{x/} Tytuł oryginału "Manual Economic and technical aspects of the choice of transmission systems".

Z technicznego punktu widzenia znaleziono [6], że łącza ziemskie mają pierwszeństwo zastosowania dla odległości mniejszych od około 3000 km. Wynik ten pokrywa się z wynikami otrzymanymi z porównań ekonomicznych.

Z drugiej strony, aby umożliwić wprowadzenie w życie planu sieci linii teletransmisyjnych CCITT, a także ze względu na niezawodność eksploatacyjną i giętkość, rozsądnie jest zabezpieczyć na ważnych trasach zarówno linie kablowe jak i linie satelitarne, nawet jeśli to nie zawsze pokrywa się z optimum ekonomicznym.

Jest także wiele innych przyczyn, skłaniających do preferowania jednej metody przed inną; na przykład programy telewizyjne mogą być transmitowane "na żywo" przez satelity, podczas gdy nie można tego zrobić za pomocą kabli podmorskich /choćby technicznie jest to możliwe przy zastosowaniu najnowszych systemów o dużej przepustowości/.

Jakakolwiek byłaby wartość tych różnych rozważań, porównania ekonomiczne są użyteczne w ocenie kosztów podjętych decyzjami z innych powodów; jest to ważne dla efektywnej eksploatacji służb telekomunikacyjnych.

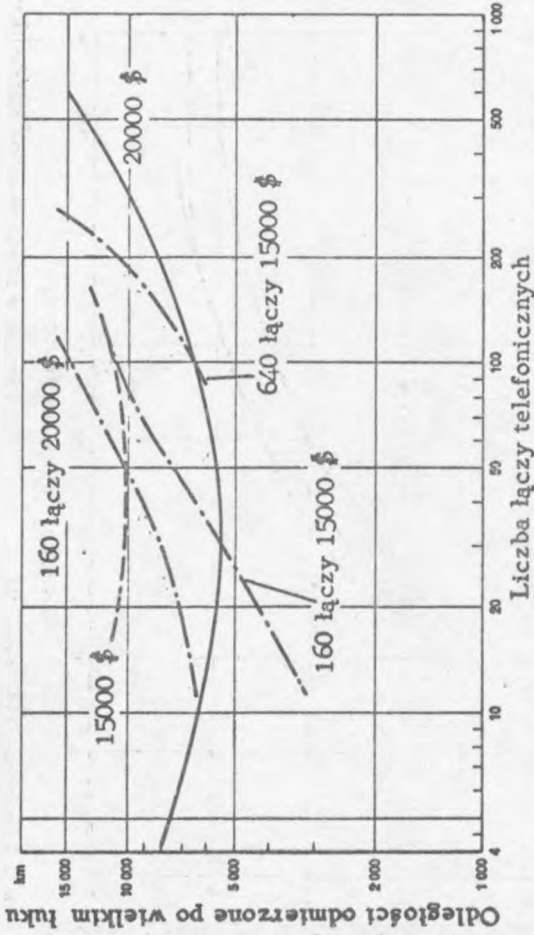
W końcu można by myśleć, że zastosowanie naziemnych stacji satelitarnych w systemie przydziału łączy na żądanie zlikwidowałoby potrzebę prognozowania w dziedzinie telefonii, ponieważ trafik będzie mógł być kierowany automatycznie wg potrzeb. Jest to niebezpieczna iluzja: to prawda, że ta metoda pozwala na dużą giętkość eksploatacyjną, lecz, jak to już omówiono w poprzednim rozdziale /granice porównań ekonomicznych/, całkowity trafik realizowany przez naziemną stację satelitarną musi być dostosowany w większym lub mniejszym stopniu do jej przepustowości, jeśli ta stacja ma być rentowna.

WNIOSKI

Satelitarne systemy telekomunikacyjne, zdaniem J. Lalou, szczególnie nadają się do realizacji umiarkowanego trafiku telefonicznego na bardzo duże odległości. Przydziały łączny na żądanie znacznie rozszerzą ich zasięg bez zasadniczej zmiany sytuacji.

WYKAZ LITERATURY

1. Lipinsky A.J. : On the mix of satellites and cables in the global network. IEEE Trans. 1967 t. COM-15 nr 2, s. 170-178.
2. Lutz S.G. : Economic factors influencing the break-even relations between satellite and terrestrial point-to-point communication. Telecomm. J. 1969, t. 36 nr 7, s. 317-328.
3. Dawidziuk B.M. and Preston H.F. : Comparative evaluation of modern transmission media for global communications. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 2, s. 80-91.
4. O'Nians F.A. and Blonstein J.L. : Some aspects of the economics of satellite communications. Telecomm. J. 1968 t. 35 nr 12, s. 662-669.
5. INTELSAT/IEE International Conference on Digital Satellite Communication, 25-27 November 1969- IEE Conference publication nr 59.
6. Lalou J. : Integration of communication satellite systems into the general network. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s. 306-308.



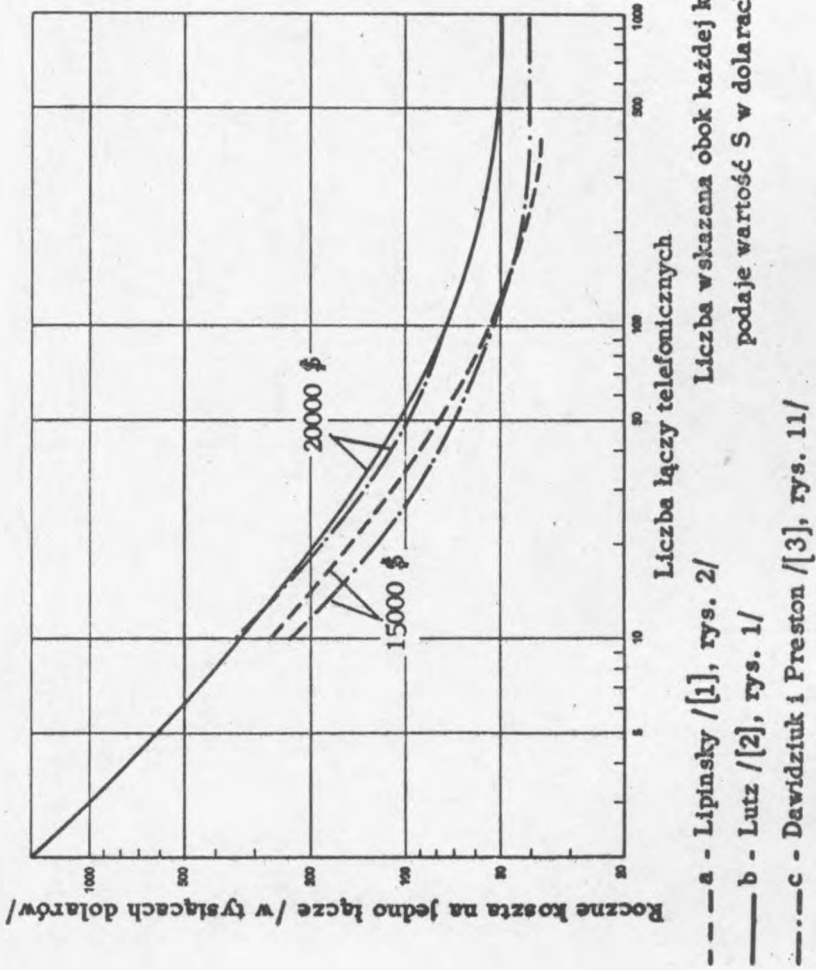
--- a - Lipiński / [1], rys. 3/

— b - Lutz / [2], rys. 4/

— c - Dawidziuk i Preston / [3], rys. 15 do 17/

Liczby wskazane obok każdej krzywej podają wartość S / w dolarach /, zaś dla krzywej c przepustowość kabla podmorskiego / największa liczba łączy /

Rys. 1. Odległości graniczne dla kabli podmorskich i satelitów zgodnie z wynikami różnych autorów



Rys. 2. Roczne koszty łączy satelitarnych zgodnie z danymi różnych autorów

Krzywe zaznaczone na rysunku pochodzą z tego samego źródła co b i odnoszą się do następujących systemów:

przewody napowietrzne

- 1 - naturalne
- 2 - naturalne i system nośny 3 + 3
- 3 - naturalne oraz system nośny 3 + 3 i system nośny 12 + 12
- 4 - system nośny 16 + 16

linie radiowe

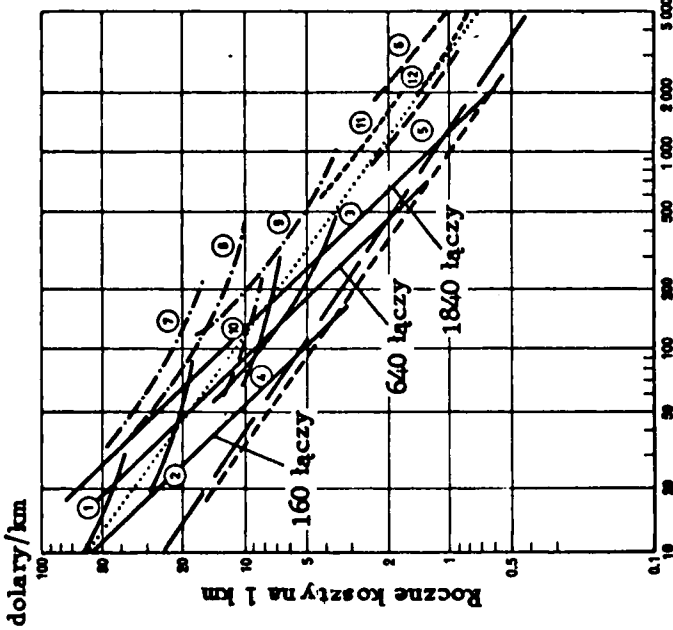
- 5 - system 600-krotny
- 6 - system 1800-krotny

kable symetryczne

- 7 - naturalne, czteroprzewodowe
- 8 - naturalne, dwuprzewodowe
- 9 - system 12-krotny bez komparatorów
- 10 - system 12-krotny z komparatorami

kable wzdłużowe

- 11 - system 600-krotny
- 12 - system 1800-krotny



Liczba łączy telefonicznych

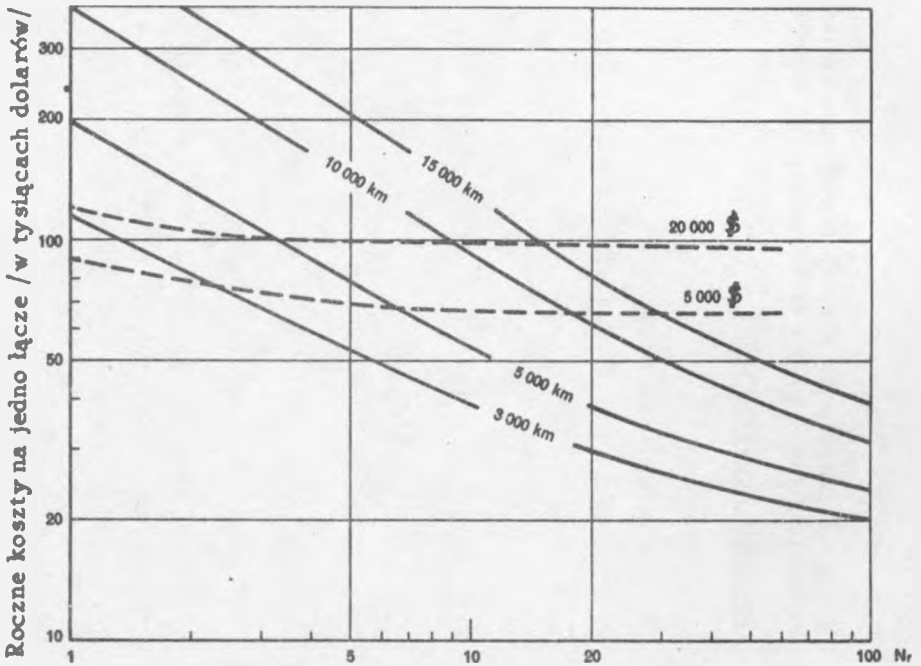
--- a - Lipiński / [1], rys. 2/

..... b - Lutz / [2], rys. 3/

— c - Dawidziuk i Preston / [3] rys. 10/

— d - krzywa stosowana do obliczeń dla małych grup łączy

Rys. 3. Roczne koszty ziemskich łączy / urządzenia końcowe wyłączone / zgodnie z danymi różnych autorów



Liczba łączy /proporcjonalna do trafiku telefonicznego,
w relacji:

a - gdy stacja naziemna jest stosowana z całkowitą przepustowością 60 łączy /{2}, rys. 4 i 5/

/liczba dolarów obok każdej krzywej równa jest wartości S/

b - gdy trafik kierowany jest arteriami ziemskimi

/liczba kilometrów przy każdej krzywej odpowiada łukowi wielkiego koła pomiędzy centrami o tej samej randze/

Rys. 4. Roczne koszty na jedno łącze przy zastosowaniu uwielokrotnionego dostępu lub grupowania łączy w arteriach

PODSTAWOWE ZAGADNIENIA RADIODYFUZJI SATELITARNEJ

Opracował J. Zygierewicz na podstawie artykułu G.J. Philips'a: General problems of broadcasting from satellites. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s. 314-319.

1. WSTĘP

Zanim przedyskutuje się zasadnicze problemy radiodyfuzji satelitarnej, należy przede wszystkim postawić pytanie, dlaczego chce się wykorzystać do tego celu sztuczne satelity? Z punktu widzenia osób odpowiedzialnych za zapewnienie szerokiego zasięgu odbioru programów radiowych i telewizyjnych podstawową atrakcyjnością nadawania z satelitów jest potencjalna możliwość objęcia zasięgiem odbioru bardzo dużego obszaru, nieograniczonego względami propagacyjnymi, jak to ma miejsce przy nadawaniu ze stacji na powierzchni Ziemi. W tym ostatnim przypadku dla zapewnienia odpowiedniego pokrycia terenowego należy umieścić na danym obszarze pewną liczbę nadajników głównych, a następnie wypełnić luki przez budowę nadajników lokalnych. Niekiedy ten proces rozbudowy zostaje wstrzymany w momencie, gdy budowa stacji lokalnej wydaje się być zbyt kosztowna w odniesieniu do niewielkiej liczby ludności, którą miałyby obsługiwać. Zaletą takiego rozwiązania jest jednak to, że jest ono bardzo elastyczne, pozwala bowiem w razie potrzeby na łatwe rozdzielenie systemów regionalnych, nadających niezależne programy. System radiofonii i telewizji rozsiewczej z satelitów jest bardziej właściwy dla innych wa-

runków, gdy dotyczy przede wszystkim zapewnienia odbioru tego samego programu na bardzo dużym obszarze przez wszystkich abonentów, którzy są wyposażeni lub mają możliwość dostępu do odpowiednich urządzeń odbiorczych.

Zanim podejmie się ostateczne decyzje o wprowadzeniu satelitarnych systemów radiofonii i telewizji rozsiewczej do normalnej eksploatacji, należy jeszcze rozważyć wiele istotnych spraw, jak rodzaj orbity, zakres częstotliwości, system nadawania, rozdział kanałów pomiędzy urządzenia nadawcze i odbiorcze itp. Odpowiedź będzie zależała od tego, czy rozważania będą dotyczyły radiofonii czy telewizji oraz od innych dodatkowych wymagań stawianych nowo wprowadzanej służbie łączności. Tak więc wydaje się wskazane przedyskutowanie zasadniczych problemów technicznych w sposób niezależny, przy uwzględnieniu wykorzystania satelitów do nadawania albo programów radiowych, albo telewizyjnych, koncentrując rozważania na takich systemach, które pozwolą na zrealizowanie indywidualnego odbioru przy stosunkowo umiarkowanych kosztach. Mogą występować również okoliczności, gdy system odbioru zbiorczego będzie bardziej dogodny lub ekonomicznie uzasadniony, na przykład w przypadku dużych bloków mieszkalnych i nic nie stoi na przeszkodzie jego stosowania, podobnie jak to ma i obecnie miejsce w odniesieniu do konwencjonalnych systemów łączności ziemskiej. Nie będzie tu dyskutowane ogólne zagadnienie jak naj-racjonalniejszego wykorzystania dostępnych zakresów częstotliwości, któremu to zagadnieniu był poświęcony specjalny artykuł [2].

2. TELEWIZJA ROZSIEWCZA

2.1. Orbity

Ponieważ zadaniem telewizji jest przede wszystkim "obsłużyć klienta w domu", gdzie w grę wchodzi możliwość stosowania tylko anten nieruchomych, największe zainteresowanie budzi wykorzystywanie satelitów umieszczonych na orbicie geostacjonarnej w odległości 35.820 km od Ziemi. Dla tego jedynego przypadku czas okrążenia Ziemi przez satelitę równa się dokładnie czasowi jej obrotu wokół własnej osi, tzn. około 1436 minut, tak że z punktu widzenia obserwatora na powierzchni Ziemi satelita wydaje się "wisieć" nieruchomo na niebie. Z tego względu orbita ta charakteryzuje się dwoma podstawowymi zaletami w stosunku do innych orbit:

a/ pojedynczy satelita może zapewnić ciągłość odbioru programów w szerokim zasięgu bezpośredniej widoczności,

b/ może być stosowana nieruchoma odbiorcza antena naziemna o stosunkowo dużym zysku /ponieważ wiąże się to w sposób jednoznaczny z małą szerokością wiązki kierunkowej anteny; w przypadku wykorzystywania satelitów ruchomych pociągałoby to za sobą konieczność wyposażenia anteny w odpowiednie urządzenia automatycznego śledzenia/.

Satelita geostacjonarny, znajdujący się na tej samej długości geograficznej co obsługuwany przez niego obszar, będzie widoczny z punktów tego obszaru pod kątem elewacji σ , wynoszącym:

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{\cos \varphi - 0,15}{\sin \varphi}$$

gdzie Ψ - szerokość geograficzna punktu odbioru.

Ze zrozumiałych względów dążenia do uniknięcia przesłonięcia przez wysokie budynki lub drzewa kąt elewacji nie powinien być mniejszy niż 20° . To pozwala na zapewnienie dobrych warunków odbioru dla obszarów położonych do około 60° szerokości geograficznej, podczas gdy zapewnienie tylko samego warunku bezpośredniej widoczności bez uwzględnienia przeszkód pozwala rozszerzyć zasięg odbioru do 81° szerokości geograficznej.

Inną alternatywą jest orbita eliptyczna wykorzystywana przez satelity typu MOŁNIA, nachylona pod kątem 65° względem płaszczyzny równika i mająca apogeum w odległości około 40000 km od powierzchni Ziemi. Większa liczba satelitów umieszczonych na wspólnej orbicie i przejmujących kolejno funkcje nadawania może zapewnić prawidłowe warunki odbioru na jeszcze większych szerokościach geograficznych przy znacznie większych kątach elewacji. Również dzięki stosunkowo wolnemu ruchowi satelity w pobliżu apogeum można przez określony czas zapewnić odbiór przy nieruchomej antenie odbiorczej o średnim zysku.

2.2. Źródła zasilania na satelitach

Jak zobaczymy później, przy odpowiednim doborze wielkości obszaru objętego zasięgiem promieniowania anteny satelity oraz rodzaju stosowanej modulacji moc nadajnika pokładowego satelity powinna wynosić do 1 kW, co pozwala na zastosowanie do zasilania urządzenia baterii słonecznych. Głównym czynnikiem ograniczającym jest fakt, że w okresach około 22-dniowych w pobliżu wiosennego i jesiennego zrównania dnia z nocą satelita geostacjonarny

wchodzi w cień Ziemi na przeciąg około 70 minut o północy czasu lokalnego, tzn. o północy w punktach na powierzchni Ziemi położonych na tej samej długości geograficznej co satelita. Umieszczając satelitę na długości geograficznej o 10° lub więcej stopni na zachód w stosunku do obszaru obsługiwanego, przesuwają się ten czas "zaćmienia" na godziny po północy. Można to uwzględnić przy projektowaniu systemu, ponieważ przesunięcie satelity o 10° do 20° na zachód w stosunku do obsługiwanego obszaru tylko nieznacznie zmniejsza kąty elewacji anten dla zapewnienia widoczności satelity z tego obszaru. Innym możliwym rozwiązaniem jest zastosowanie baterii rezerwowych, lecz może to być zbyt kosztowne, biorąc pod uwagę znacznie większy ciężar i związany z tym koszt umieszczenia satelity na orbicie.

Użyteczny czas życia satelity będzie prawdopodobnie w dużym stopniu zależny od skuteczności działania baterii słonecznych /istnieje tendencja do pogarszania się ich pracy z upływem czasu/ oraz od wielkości zapasu materiałów pędnych silników niezbędnych do korygowania położenia i pozycji satelity. Wydaje się uzasadnione przyjmowanie żywotności satelity na co najmniej 5 do 7 lat.

2.3. Nadajnik i antena nadawcza satelity

Nadajniki o mocy rzędu 1 kW potrzebne do nadawania sygnałów radiowych i telewizyjnych z satelitów w zakresach ultrawielkich /UHF/ i superwielkich /SHF/ częstotliwości pracują zazwyczaj przy wykorzystaniu lamp próżniowych w postaci klustronów w stopniach końcowych i prowadzone ostatnio prace nad podniesieniem sprawności tego typu lamp są bardzo obiecujące ze względu na moż-

liwości obniżenia kosztów systemu. Przy zastosowaniu modulacji częstotliwościowej sprawność mocy takiego klistronu może sięgać do 60%, chociaż uzyskanie takiej wartości jest jeszcze niemożliwe dla wyższych częstotliwości wykorzystywanego zakresu /do 12 GHz/.

Antena nadawcza ze względu na sprawność energetyczną systemu i minimalne zakłócenia innych służb musi być tak projektowana, aby koncentracja promieniowanej energii następowała na obsługiwanym obszarze przy minimalnym promieniowaniu w kierunkach poza nim. Dla systemów przewidzianych do praktycznego stosowania, przynajmniej w pierwszym okresie ich rozwoju, przewiduje się wykorzystywanie wiązki promieniowania o przekroju kołowym lub eliptycznym, przy czym promieniowana energia będzie malała w sposób ciągły w miarę zwiększania kąta rozbieżności w stosunku do osi wiązki promieniowania. Tak więc powierzchnia Ziemi "oświetlana" promieniowaniem satelity będzie miała również w przybliżeniu kształt kołowy lub eliptyczny. Przy planowaniu systemów jako granicę obszaru obsługiwanego przyjmuje się zwykle punkty, dla których efektywna moc promieniowania spada o 3 dB w stosunku do mocy maksymalnej, czyli punkty odpowiadające szerokości wiązki promieniowania w punktach spadku połowy mocy.

Zależność pomiędzy wielkością opromieniowywanego obszaru i szerokością wiązki promieniowania można określić, jeżeli weźmie się pod uwagę, że kołowa wiązka o szerokości 1° oświetla powierzchnię o długości około 650 km w kierunku wschodnio-zachodnim i tej samej lub nieco większej długości w kierunku południowo-północnym /w zależności od szerokości geograficznej rozpatrywanego obszaru/.

Uwzględniając możliwe do wykorzystania zakresy częstotliwości, średnica satelitowej anteny nadawczej /zakładając stosowanie anteny parabolicznej/ koniecznej do uzyskania wiązki o szerokości 2° wynosi odpowiednio 12,5 m przy częstotliwości 860 MHz i 0,9 m przy 12 GHz. Jedną z zalet wykorzystywania częstotliwości zakresu mikrofalowego /12 GHz/ jest więc możliwość uzyskania dużej kierunkowości wiązki promieniowania przy stosunkowo małych wymiarach anten. W przypadku wiązki promieniowania o szerokości 2° zysk energetyczny wynosi około 38 dB w stosunku do anteny izotropowej.

Ze względu na konieczność utrzymania kierunku ustawienia anteny nadawczej na środek rozpatrywanego obszaru z dokładnością około $0,1^\circ$ jest rzeczą prawdopodobną, że oprócz stabilizacji położenia satelity lub parabolicznego reflektora będzie potrzebna dokładna samokontrola ustawienia promiennika anteny. Jeżeli w przyszłości okaże się możliwe stosowanie anten o większych wymiarach, celowe będzie kształtowanie wiązki promieniowania w ten sposób, aby uzyskać bardziej równomierny rozkład promieniowania względem maksimum w punkcie środkowym oraz lepsze tłumienie listków bocznych, niż daje się to uzyskać przy obecnie stosowanych konwencjonalnych rodzajach anten.

2.4. Propagacja i szumy

Ze względów propagacyjnych droga transmisji satelita-Ziemia będzie mniej skomplikowana niż w przypadku systemów radiodyfuzyjnych na powierzchni Ziemi. Dla większości czasu warunki propagacji będą odpowiadały propagacji w wolnej przestrzeni, a duży kąt

elewacji anten odbiorników na powierzchni Ziemi powinien zapewnić znacznie mniejszą podatność na zmienne wpływy odbić od powierzchni Ziemi oraz wielodrogowego rozchodzenia się sygnałów niż w przypadku systemów konwencjonalnych.

Występuje co prawda dla fal zakresu mikrofalowego /12 GHz/ dodatkowy wzrost tłumienia, wynoszący od części decybelą w przypadku pięknej pogody do 4-6 dB przy nadzwyczaj silnym deszczu i dużej pokrywie chmur, przy założeniu, że kąty elewacji anten odbiorczych będą wynosiły co najmniej 20° . Z tego powodu przy ustalaniu parametrów systemu należy uwzględnić konieczność zachowania dodatkowego marginesu bezpieczeństwa 4-6 dB i odpowiednio powiększyć moc promieniowania nadajnika.

Poziom szumów na wejściu anteny jest ogólnie biorąc niższy niż konwencjonalnych układów wzmacniaczy lub mieszaczy pracujących przy częstotliwościach powyżej 850 MHz. Dodatkowemu wzrostowi tłumienia dla zakresu 12 GHz towarzyszy również wzrost poziomu szumów anteny, ale współczynnik temperaturowy szumów nie przekracza 300°K i nie jest groźny z punktu widzenia domowych instalacji odbiorczych. Ten wzrost poziomu szumów anteny należy jednak brać poważnie pod uwagę w przypadku dużych stacji odbiorczych wyposażonych w urządzenia o małych współczynnikach temperaturowych szumów. Innym źródłem powodującym okresowy wzrost poziomu szumów jest Słońce w momencie, gdy znajdzie się ono w wiązce kierunkowej anteny odbiorczej. Jeżeli szerokość tej wiązki wynosi $2,4^\circ$ /co odpowiada średnicy reflektora 0,75 m przy częstotliwości 12 GHz/, współczynnik temperaturowy szumów nie przekroczy 750°K , tak że efekt tego zjawiska jest marginesowy przy uwzględnieniu małego prawdopodobieństwa skierowania anteny na Słońce.

2.5. Metody modulacji i urządzenia odbiorcze

W sprawozdaniu 215-2 CCIR XII Zebranie Plenarne, New Delhi 1970 [3] wykazano, że stosowanie modulacji amplitudowej z częściowym tłumieniem wstęgi bocznej, powszechne w systemach konwencjonalnych, w przypadku systemów satelitarnych wymagałoby, w celu zapewnienia dobrych warunków odbioru przez indywidualnych abonentów, mocy nadawania powyżej 10 kW, co jest jak na razie nieosiągalne. W tych warunkach wydaje się, że jest to właściwy moment ustalenia parametrów i wprowadzenia nowych systemów rozsiewczych pracujących przy wykorzystaniu modulacji FM /lub innych szerokopasmowych metod modulacji, takich jak PCM/, co pozwoli na zmniejszenie mocy nadajników satelitowych do 1 kW lub nawet poniżej. Wykazano, że efektywność wykorzystania zakresów częstotliwości nie ucierpi na skutek tego, ponieważ większa szerokość pasma wymagana dla transmisji sygnałów jest kompensowana mniejszą podatnością na sygnały zakłócające, tak że wspólne wykorzystywanie zakresów częstotliwości daje się o wiele łatwiej zrealizować przy systemach FM niż AM. W przypadku systemów radiodyfuzji satelitarnej oznacza to zarazem, że będzie mniejsze prawdopodobieństwo zakłócenia innych służb.

Występuje jeszcze zagadnienie, w jaki sposób ograniczyć koszty instalacji odbiorczych. Będzie to możliwe, jeżeli transmisja sygnału fonicznego będzie odbywała się na podnośnej przy zachowaniu standardowej różnicy częstotliwości wizja-dźwięk /np. 5,5 MHz w przypadku systemu Gerbera/ i tego samego rodzaju modulacji /np. \pm 50 kHz FM w przypadku systemu Gerbera/. Na wyjściu przy-

stawki odbiorczej otrzymałoby się wówczas sygnał bardzo podobny do tego, jaki istnieje na detektorze wizji standardowego odbiornika telewizyjnego. Sygnał fonii jest odbierany na częstotliwości różnicowej /5,5 MHz w systemie Gerbera/. Jednakże w obecnie stosowanych układach odbiorników istnieją pewne trudności z wprowadzeniem sygnału na częstotliwości wizji. Tak więc w celu umożliwienia doprowadzenia sygnału z anteny do odbiornika może się okazać konieczna dodatkowa modulacja amplitudy częstotliwości nośnej w zakresie ultrawielkiej częstotliwości sygnałem z wyjścia przystawki.

Problemem obecnie studiowanym są metody przesyłania więcej niż jednego sygnału fonicznego przy transmisji telewizyjnej. Być może będą do tego celu wykorzystywane dodatkowe częstotliwości podnośne lub też oddzielna nośna dla sygnałów fonicznych, umieszczona poza pasmem sygnału telewizyjnego. Alternatywnym rozwiązaniem może być wprowadzenie do sygnału wizji dodatkowych impulsów, modulowanych przez zmianę położenia lub na zasadzie modulacji kodowo-impulsowej sygnałami fonicznymi.

2.6. Antena odbiorcza

W przypadku transmisji w zakresie ultra wielkiej częstotliwości /900 lub 2000 MHz/ może być ekonomicznie uzasadnione stosowanie anten spiralnych lub prostych zestawów tego typu anten, dogodnych ze względu na ciężar i koszt w przypadku stosowania polaryzacji kołowej fal elektromagnetycznych. W przypadku zakresu około 12 GHz możliwości rozwiązań są bardziej różnorodne. Na pierwszym miejscu należy wymienić antenę paraboliczną o średnicy oko-

ło 0,75 m, której koszt przy masowej produkcji nie wydaje się być zbyt wielki, zwłaszcza przy możliwości zastosowania nowych rozwiązań technologicznych, na przykład w postaci plastikowego talerza pokrytego warstwą metalu. Może być również celowe stosowanie anten wieloelementowych wykonanych w postaci drukowanych układów dipoli lub szczelin, co pozwala na wykonanie bardzo cienkich anten ścianowych. Przy innym rozwiązaniu reflektor paraboliczny mógłby być zastąpiony przez soczewki Fresnela dla zmniejszenia poprzecznych wymiarów anteny, aczkolwiek promiennik przed reflektorem musiałby pozostać na tym samym miejscu, jak w przypadku rozwiązania konwencjonalnego.

Ogólnie biorąc przewiduje się, że antena w zakresie superwielkiej częstotliwości będzie musiała być wyposażona w układ przemiany częstotliwości, aby doprowadzenie sygnału do odbiornika mogło odbywać się w zakresach częstotliwości bardzo wielkiej lub ultrawielkiej częstotliwości, a to z tego względu, że linia zasilająca odpowiedniej długości w zakresie superwielkiej częstotliwości odznaczałaby się zbyt dużymi stratami albo byłaby za droga.

Należy stwierdzić, że na ogół biorąc antena odbiornika domowego przystosowanego do odbioru sygnałów nadawanych przez satelitę nie musi być bynajmniej montowana na dachu budynku. W większości przypadków bardziej dogodna będzie na pewno ściana budynku lub inna konstrukcja wsporcza, o ile tylko linia widoczności pomiędzy satelitą a anteną nie będzie przesłonięta. Jest to sprawa szczególnie istotna w przypadku anten w zakresie superwielkiej częstotliwości, które będą wymagały mocnego i sztywnego umocowania oraz utrzymania kierunku wiązki anteny odbiorczej z dokładnością do części stopnia kąтового. Trudno jest uzyskać taką sta-

bilność w przypadku umieszczenia anteny na cienkim maszcie na dachu, ale jest to zupełnie możliwe w przypadku trójpunktowego przymocowania anteny do ściany budynku. /Innym alternatywnym rozwiązaniem jest umieszczenie anteny na ziemi w ogrodzie, jednakże wystąpią wówczas trudności jej ochrony przed dziećmi, psami itp. / . Antena będzie musiała być wyposażona w śrubowe mechanizmy regulujące w celu umożliwienia dokładnego jej ustawienia w kierunku żądanego satelity.

Zagadnieniem dużej wagi wymagającym dalszych rozważań jest odpowiedź na pytanie, czy mechanizm taki powinien być wykorzystywany tylko raz w trakcie instalowania anteny czy też powinien być również stosowany do nadążania w pewnym przedziale kątowym pod kontrolą telewidza za zmianami położenia satelity na orbicie. Celowość zastosowania takiego rozwiązania jest przeanalizowana w rozdz. 2.8. Najprostszym rozwiązaniem w porównaniu do anteny umocowanej na sztywno byłby napęd mechaniczny umożliwiający ustawienie anteny w jednym z dwóch alternatywnych położень odpowiadających kierunkom dwóm różnym satelitom. W przypadku reflektora parabolicznego taka regulacja kierunku ustawienia wiązki antenowej w ograniczonym zakresie mogłaby być realizowana przez zmianę położenia promiennika anteny lub też można by zastosować dwa promienniki i elektroniczny wybór jednego z nich.

2.7. Polaryzacja fal

Ze względu na zmianę płaszczyzny polaryzacji fal przy przejściu przez jonosferę nie jest właściwe stosowanie liniowej polaryzacji przy pracy na częstotliwościach poniżej 1000 MHz. Stosowanie po-

laryzacji kołowej pozwala na uniknięcie przykrych zjawisk związanych ze zmianą płaszczyzny polaryzacji. Ponieważ jednak w przypadku zakresu superwielkiej częstotliwości zmiana płaszczyzny polaryzacji jest bardzo mała - wynosi co najwyżej ułamek stopnia przy częstotliwości 12 GHz - przeto dla tego zakresu może się okazać celowe stosowanie również i liniowej polaryzacji.

Zastosowanie jednej polaryzacji dla jednej transmisji i uzupełniającej polaryzacji dla drugiej transmisji /przeciwny kierunek rotacji w przypadku polaryzacji kołowej lub w płaszczyźnie prostopadłej w przypadku polaryzacji liniowej/ w tym samym kanale radiowym może pozwolić na uniknięcie wzajemnych interferencji przy lepszym wykorzystaniu dostępnych zakresów częstotliwości.

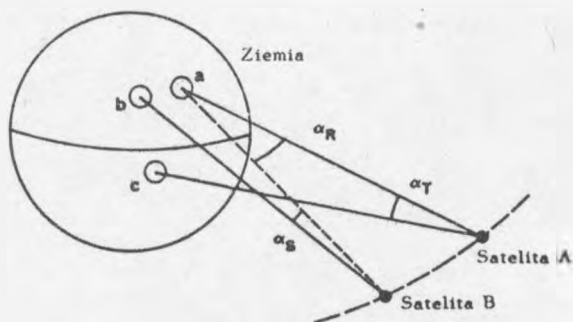
2.8. Uwielokrotnienie służb

Na pierwszy rzut oka wydaje się sprawą kuszącą wykorzystywać satelity geostacjonarne do pokrycia zasięgiem odbioru transmisji radiofonicznych i telewizyjnych możliwie dużego obszaru. Jednakże moc nadajnika pokładowego może być znacznie zmniejszona, jeżeli zasięg transmisji będzie ograniczony do stosunkowo małego obszaru powierzchni Ziemi i taki wariant rozwiązania był właśnie brany pod uwagę przy rozpatrywaniu anten nadawczych satelitów. Ponadto, zwłaszcza przy transmisjach telewizyjnych, wiele różnych czynników może mieć wpływ na zmniejszenie korzyści płynących z pokrycia dużego obszaru zasięgiem odbioru tego samego programu, że wymienimy tu tylko różnice językowe, różnice standardów telewizyjnych, różnice systemów telewizji kolorowej i różnice lokalnych czasów. Wydaje się przeto, że większość, jeżeli

nie wszystkie służby radiodifuzji satelitarnej będą realizowane na zasadzie pokrycia zasięgiem łączności obszaru danego kraju lub w przypadku bardzo dużych krajów, rejonów kraju.

Właściwy rozwój systemów radiodifuzji satelitarnej, w szczególności w zakresie superwielkiej częstotliwości w pobliżu 12 GHz, będzie bardzo utrudniony, o ile nie wystąpią szczegółowe uzgodnienia planów i projektów pomiędzy zainteresowanymi krajami. Z drugiej jednak strony wykorzystywanie satelitów wyłącznie do zapewnienia pokrycia zasięgiem odbioru programu małych obszarów lub bardzo małych krajów byłoby rozwiązaniem nieekonomicznym, ponieważ koszty realizacji całego systemu musi w takim przypadku ponosić ludność zamieszkała na stosunkowo małej powierzchni ziemi. Ponadto ograniczenia zasięgu nadawania satelity do obszaru o średnicy tylko około 300 km stworzyłoby bardzo poważne problemy konstrukcji odpowiednich anten pokładowych i stabilizacji kierunku ich promieniowania.

Naszą koncepcją jest wiele obszarów obsługiwanych przez różne satelity. Rysunek ilustruje sytuację, jaka może mieć miejsce w



Geometria dróg rozchodzenia się sygnałów

przypadku wielu służb pracujących przy wykorzystaniu tego samego kanału radiowego. Mamy tu obszar a obsługiwany przez satelitę A i obszar b obsługiwany przez satelitę B. Z rysunku widać, że droga rozchodzenia się /linia przerywana/ sygnałów interferencyjnych z satelity B oddziaływujących na obszar a jest taka, że następuje znaczne osłabienie tych sygnałów, zarówno ze względu na rozbieżności kątowe kierunków nadawania /kąt α_S /, jak i odbioru /kąt α_R /. Tak więc przy dobrym ukierunkowaniu anten nadawczych i odbiorczych szerokości ich wiązek kierunkowych mogą być czynnikiem przyczyniającym się w dużym stopniu do zapobieżenia zakłóceniom przez sygnały interferujące. Przy bardzo dużych separacjach geograficznych obsługiwanych obszarów, jak w przypadku obszarów a i c na rysunku powyżej, kierunkowość promieniowań anteny nadawczej może być sama w sobie czynnikiem wystarczającym i ten sam kanał radiowy może być wykorzystywany z tego samego satelity A przy rozbieżności wiązek promieniowania w obu kierunkach α_T .

Rozważania powyższe wskazują, że dla zapewnienia pracy służb radiodyfuzyjnych bez wzajemnych zakłóceń uzgodnienia powinny dotyczyć następujących parametrów:

- częstotliwości kanału radiowego
- pozycji satelity
- szerokości wiązki kierunkowej anteny
- polaryzacji nadawanych fal elektromagnetycznych.

Moc nadawania byłaby ograniczona do maksymalnie dopuszczalnej EIRP /równoważna moc promieniowania izotropowego/, co jest wystarczające do zapewnienia dostatecznej jakości obrazu przy in-

dywidualnym odbiorze. Istnieje również możliwość początkowej pracy służb radiodifuzji satelitarnej przy mniejszych mocach nadawania i wykorzystaniu zbiorowych anten odbiorczych. W takim przypadku antena zbiorowa musiałaby mieć odpowiednio większy zysk i w związku z tym odpowiednio lepszą kierunkowość, tak że nie byłoby sprawą trudną uniknięcie interferencji ze strony innych służb radiodifuzyjnych pracujących przy pełnej mocy nadawania oraz dokonanie w dowolnym czasie takich zmian parametrów satelity danej służby, która umożliwiałaby odbiór indywidualny.

Powróćmy teraz do rozpatrzenia trudności, jaka może pojawić się, gdy jedna lub więcej służb międzynarodowych będzie koegzystować ze służbami krajowymi. Jeżeli służba międzynarodowa będzie pracowała przy wykorzystaniu tylko jednego nadajnika satelitowego zaprojektowanego tak, aby objąć zasięgiem odbioru wiele krajów, to telewidzowie we wszystkich tych krajach skierują swoje anteny na tego satelitę. Jeżeli służby narodowe każdego z tych krajów będą również nadawały swoje programy z tego samego satelity /lub satelitów na tej samej nominalnej pozycji na orbicie/, aby można było wykorzystywać te same, umocowane na sztywno, anteny, to pojawi się problem rozdziału częstotliwościowego kanałów. Ponieważ w tym przypadku kierunkowość anten odbiorczych nie może przyczyniać się do ochrony przed interferencjami, byłoby konieczne wykorzystanie przez każdą ze służb niezależnych kanałów radiowych. Tak więc zagadnienia te należy pozostawić do dalszego rozpatrzenia, a w szczególności znaleźć odpowiedź na pytania: czy ze względu na oszczędność kanałów służby międzynarodowe powinny pracować przy wykorzystaniu wielu satelitów rozmieszczonych na zasadzie tego samego schematu co w przypadku służb

krajowych? Czy anteny powinny być przestrajane /przełączane/?
Czy istnieją bardziej eleganckie rozwiązania?

3. RADIOFONIA

Koncepcja radiofonii satelitarnej oparta na możliwości wykorzystania przenośnego typu odbiorników, odmiennie niż w przypadku telewizji, różni się nieco w stosunku do omawianej koncepcji telewizji rozsiewczej. W kolejnych punktach ograniczymy nasze rozważania do omówienia istotnych różnic w koncepcjach obu systemów.

3.1. Orbity

Oprócz satelitów geostacjonarnych, które mogą zapewnić 24-godziną obsługę wydzielonych obszarów, można również dla tego przypadku rozpatrywać korzyści stosowania satelitów krążących po orbicie równikowej poniżej orbity stacjonarnej. Mogą one okrążyć Ziemię w ustalonym okresie czasu, na przykład satelita o okresie 6 godzin przelatywałby nad tym samym obszarem Ziemi co każde 8 godzin. Wysokość lotu satelity w rozpatrywanym przypadku wynosiłaby 10.400 km. Ponieważ realne jest nadawanie z mocą pozwalającą na odbiór bez stosowania kierunkowych anten odbiorczych - przynajmniej przy częstotliwościach 26 MIlz - możliwe jest transmitowanie programów według ustalonego porządku dnia w oparciu o fakt, że przynajmniej w ciągu 2 godzin co każde 8 godzin możliwy byłby odbiór sygnałów radiofonicznych w dowolnym punkcie kuli ziemskiej, z wyjątkiem obszarów położonych na dużych szerokościach geograficznych. Można również zauważyć, że dla częstotliwości 26 MIlz trudno byłoby na satelitach geostacjonarnych zreali-

zować anteny pokładowe o dostatecznie dużej kierunkowości dla zapobieżenia stratom energii promieniowania, uwzględniając że z tej wysokości ziemia jest widziana pod kątem 17° . Orbita położona w mniejszej odległości od powierzchni Ziemi mogłaby przeto być bardziej korzystna, pozwalając na zapewnienie większego natężenia pola przy tej samej mocy nadawania.

3.2. Częstotliwości

Jest sprawą dobrze znaną, że zakres przeznaczony dla radiofonii 25,6 do 26,1 MHz /zakres 11-metrowy/ nie jest obecnie w pełni wykorzystywany i że tylko stosunkowo mały procent odbiorników domowych z nominalnym zakresem krótkofalowym jest przystosowany do odbioru w tym zakresie. Zasadniczym powodem tego jest ograniczony okres czasu, w ciągu którego warunki propagacji są zadowalające do odbioru ziemskich stacji radiofonicznych, ponieważ fale tego zakresu rozchodzą się na zasadzie odbić od jonosfery. Wydaje się jednak, że nic nie stoi na przeszkodzie wykorzystaniu tego pasma przez służby radiofonii satelitarnej pracujące przy zastosowaniu modulacji amplitudy. Przy dużych kątach elewacji, co będzie miało miejsce w odniesieniu do większości punktów na powierzchni ziemi, fale o rozpatrywanych częstotliwościach przenikają przez jonosferę cały czas, tak że jakość transmisji AM z satelitów będzie znacznie lepsza niż przy konwencjonalnym odbiorze przy wykorzystaniu odbicia jonosferycznego^{x/}.

^{x/} W związku ze zgłoszeniem przez szereg państw zastrzeżeń co do wykorzystywania zakresu częstotliwości 25 MHz dla radiodyskusji satelitarnej należy raczej wykluczyć jego wykorzystywanie w rozwiązaniach przyszłościowych.

Wykorzystanie pasma FM /87,5 do 108 MHz/ dla radiofonii satelitarnej jest sprawą bardzo trudną ze względu na duże wykorzystanie tego pasma częstotliwości przez ziemskie systemy radiofoniczne i inne służby.

Jeżeli rozważy się z punktu widzenia technicznego najwyższe zakresy częstotliwości, które pozwoliłyby na wykorzystywanie prostej, wbudowanej /dipol/ anteny w przenośnym odbiorniku i które nie pociągałyby za sobą konieczności nadmiernego powiększenia mocy nadajnika satelitowego, zakładając monofoniczną transmisję FM, to największe zainteresowanie budzi zakres częstotliwości w pobliżu 2500 MHz /przy standardowej wartości stosunku nie ważonego sygnału do szumów 50 dB wymagana moc nadajnika satelitowego wynosiłaby około 500 W przy szerokości wiązki promieniowania anteny $1,4^\circ$ /. Odbiornik nie znajdujący się w zasięgu bezpośredniej widoczności satelity, tzn. nie umieszczony na dachu lub w pobliżu okna z anteną zwróconą w kierunku satelity, może wymagać podłączenia do specjalnej anteny, na przykład trzejelementowej anteny Yagi z prętami o długości 70 mm, umieszczonej w bezpośrednim zasięgu widoczności satelity. Dopuszczalne tłumienie kabla wynosiłoby 6 dB dla tego przypadku lub więcej przy bardziej rozbudowanych układach antenowych.

Powracając do sprawy zakresu około 12 GHz wykorzystywanie jego wymaga stosowania anten odbiorczych o dużej kierunkowości i nadawanie sygnałów radiofonicznych wydaje się celowe tylko w połączeniu z nadawaniem sygnałów telewizyjnych przy wykorzystaniu tego samego satelity i tych samych anten odbiorczych.

Na zakończenie należy poczynić pewne uwagi co do sprawy nadawania sygnałów stereofonicznych. Po pierwsze programy tego ro-

dzaju nadają się tylko do słuchania w domu, a nie przy użyciu przenośnego odbiornika. Po drugie systemy zwielokrotniania, takie jak modulacja polarna lub systemy z tonem pilotującym, są raczej nieefektywne w takich przypadkach, gdy raczej ciągły szum /szумы wzmacniaczy/ niż interferencje w postaci zakłóceń impulsowych określają poziom natężenia sygnału wymaganego do prawidłowego odbioru, jak to ma miejsce w przypadku zakresu fal metrowych przeznaczonego dla radiofonii. Jeżeli przeto zagadnienie stereofonii ma być włączone do planów rozwoju radiodyfuzji satelitarnej, to wydaje się rzeczą prawdopodobną, że albo ograniczyłoby się ono tylko do zakresu około 12 GHz przy bardziej efektywnym systemie nadawania - dwa kanały, z których każdy może być wykorzystywany w dowolnym czasie do nadawania programów monofonicznych - albo mogłoby być rozwiązane przez wykorzystanie zakresu około 26 MHz przy zastosowaniu systemu modulacji AM, jak to opisano w [4].

4. WNIOSKI

Uwagi poczynione w niniejszym artykule są odbiciem poglądów autora na sprawę radiodyfuzji satelitarnej. Pisze się często w popularnych pismach, że gdy pojawi się ten nowy rodzaj służby telekomunikacyjnej, telewizowie będą mogli łatwo na swoje życzenie "włączyć się" do pełnego wykorzystania systemów radiodyfuzji satelitarnej różnych krajów. Jednakże ani dostępne zakresy częstotliwości ani kieszeń telewizzów nie pozwolą na taki luksus, ponieważ z technicznego punktu widzenia wchodzi w grę około 50 tego rodzaju służb.

Jest rzeczą niezbędną, poprzez przestawienie się z koncepcji technicznych na koncepcje opracowane przez programowców i ludzi mających jasną wizję potrzeb publicznych, znalezienie właściwej drogi rozwoju radiodifuzji satelitarnej, którą uznałoby społeczeństwo z punktu widzenia ekonomicznego i artystycznego.

WYKAZ LITERATURY

1. Nerurkar B.Y. : Educational applications of satellite television and the india project. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s.325-329.
2. Matthey A. A. : International frequency management in bands between one and ten gigahertz allocated with equal rights to space and terrestrial services. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s. 380-385.
3. Documents of the XII-th Plenary Assembly of the CCIR, New Delhi, 1970, Report 215-2.
4. Avinis J. et al. : A compatible stereophonic system for the AM broadcast band. RCA Review, 1960 t. 21 nr 5, s. 299-359.

PERSPEKTYWY WYKORZYSTANIA I ROZWOJU SATELITÓW DLA LOTNICTWA CYWILNEGO I ŻEGLUGI MORSKIEJ

Opracował J. Rutkowski na podstawie artykułu B. Manali:
Prospects for the use and development of satellites for
civil aviation and shipping. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5,
s. 330-337.

1. WSTĘP

Przez pięć lat toczyły się na forum międzynarodowym ostre, a często nawet namiętne dyskusje w sprawie satelitów lotniczych. Problem dotyczył głównie lotnictwa cywilnego, które ma organizację kompetentną we wszystkich dziedzinach lotnictwa: Międzynarodową Organizację Lotnictwa Cywilnego /ICAO/ i które dysponuje jednocześnie potężnymi i skonsolidowanymi organizacjami pozarządowymi, takimi jak: Międzynarodowe Zrzeszenie Transportu Lotniczego /IATA/ i Aeronautical Radio Inc. /ARINC/.

Sześć głównych zagadnień wyłoniło się na wstępie tych dyskusji: pierwsze dotyczyło wyboru państwa lub organizacji, która wzięłaby na siebie odpowiedzialność za zdefiniowanie systemu lotniczego. Jakkolwiek dość szybko udało się osiągnąć porozumienie co do tego, że organizacją tą powinna być ICAO, to znane są pewne tendencje niektórych państw, zmierzające do działania poza ICAO; można jednak mieć nadzieję, że znikną one z chwilą określenia parametrów systemu i przystąpienia doń większości krajów świata.

Drugie pytanie dotyczyło terminu wprowadzenia satelitów do eksploatacji. Niektórzy, zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych, preferowali datę niezbyt odległą: 1970 lub 1971 r., podczas gdy inni, a zwłaszcza ICAO, przewidywali wystąpienie takich potrzeb w latach 1973-1975. Pytanie to mogłoby się wydawać mało ważne, gdyby nie było związane z podstawowym problemem zadań satelitów /lub oferowanych służb/, z problemem, który sam w sobie związany był z wyborem zakresów częstotliwości przeznaczonych do wykorzystania w łączności pomiędzy satelitami a samolotami.

Jeśli chodzi o zadania satelitów, to nasuwają się aktualnie następujące pytania: czy konieczne jest wprowadzenie łączności telefonicznej i transmisji danych, czy też należy zaproponować wprowadzenie służby radionawigacji, pozwalającej na kontrolę ruchu lotniczego za pomocą systemu nadzoru podobnego do tego, jaki czynny jest w sąsiedztwie portów lotniczych? Druga tendencja wydaje się obecnie przeważać, zobaczymy więc, jakie są konsekwencje ekonomiczne jej przyjęcia.

Jednym z najbardziej kontrowersyjnych zagadnień był wybór zakresu częstotliwości dla łączności satelita - samolot: czy należało przyjąć zakres fal metrowych pomiędzy 118 a 136 MHz czy też zakres fal centymetrowych pomiędzy 1540 a 1660 MHz. Wykonano w tej dziedzinie wiele opracowań studialnych: technicznych i ekonomicznych; pozwoliły one na pogłębienie naszej wiedzy o tych zakresach częstotliwości i na przeprowadzenie porównań ekonomicznych, które nie przemawiały na korzyść zakresu fal metrowych. Można jednak ubolewać, że te kontrowersje trwały tak długo, gdyż trzeba było postawić zasadnicze pytanie: czy system ma być utworzony na 20 czy na 5 lat? Odpowiedź brzmiałaby niewątpliwie: na

20 lat. Pociągnęłyby to za sobą ipso facto wybór częstotliwości w zakresie fal centymetrowych, gdzie był do dyspozycji zakres częstotliwości o wymaganej szerokości, podczas gdy w zakresie fal metrowych widmo częstotliwości jest szczególnie mocno obciążone.

Piąte zagadnienie dotyczyło wyboru rakiety nośnej przed wyniesieniem na orbitę pierwszej generacji satelitów i koncepcji tych satelitów.

Potrzeba utworzenia służby o wzrastającej zdolności przepustowej, o małej liczbie użytkowników w dwóch pierwszych latach, kiedy zachodzi konieczność zmniejszenia do minimum ryzyka finansowego i kosztów wstępnych przedsięwzięć związanych z wdrożeniem systemu, doprowadziła do wyboru rakiety klasy Thor - Delta i satelity o masie poniżej 300 kg. Jeśli, z drugiej strony, satelity stabilizowane wg trzech osi potwierdzą swoje zalety ekonomiczne ze względu na wzrost ich zdolności przepustowej w porównaniu z satelitami stabilizowanymi obrotowo /i to bez zauważalnego zwiększenia ryzyka technicznego/, taki właśnie rodzaj satelitów powinien być wybrany. Zróznicowałoby to jeszcze bardziej specyfikę techniczną tych satelitów w porównaniu z satelitami opracowanymi przez Międzynarodowe Konsorcjum Łączności Satelitarnej /INTELSAT/.

Wreszcie szóste zagadnienie dotyczy jednej lub więcej organizacji, które opracowałyby i umieściły na orbicie pierwsze satelity, a więc organizacji, która zarządzałaby systemem. A zwłaszcza czy trzeba będzie utworzyć nową międzynarodową organizację zarządzającą w skali światowej tymi satelitami? Na jakich zasadach lotnictwo cywilne i żegluga morska współpracowałyby ze sobą w ramach tej organizacji?

Jak widać, problemów jest jeszcze wiele i muszą one być rozpatrzone w ramach globalnej koncepcji rozwoju satelitarnej służby ruchomej.

Rola Światowej Konferencji Administracyjnej ds. Łączności Kosmicznej /czerwiec-lipiec 1971/ była więc szczególnie ważna, gdyż wytyczała ona kierunki rozwoju tej nowej służby, której tempo wzrostu powinno być porównywalne z tempem wzrostu służby stałej.

Należy również zauważyć, że wspomniana konferencja kosmiczna stanowi jedyne forum międzynarodowe, na którym mogą zostać skonfrontowane potrzeby lotnictwa cywilnego i żeglugi morskiej.

Harmonijne rozwiązywanie rozmaitych problemów, jakie się nasuwają, powinno być więc oparte na wynikach konferencji, na której spoczywała z tego względu szczególnie wielka odpowiedzialność.

W artykule tym postaramy się najpierw przedstawić rodzaj i wielkość potrzeb służby ruchomej. Następnie spróbujemy podać podstawowe charakterystyki systemu, a na koniec - perspektywy wykorzystania eksploatacyjnego satelitów na Atlantyku i Pacyfiku i problemy, jakie nasuwają się w związku z opracowaniem tych satelitów.

2. OKREŚLENIE POTRZEB SŁUŻBY RUCHOMEJ

Każda próba określenia potrzeb służby ruchomej napotyka znaczne trudności, gdyż w istocie przewidywania te powinny uwzględniać równowagę, jaka się ustali pomiędzy podażą a popytem w zależności od kosztów rozmaitych służb. Po przedstawieniu potrzeb jakościowych i ilościowych tych służb postaramy się oszacować wysokość taryf, jakie mogłyby być stosowane.

2.1. Potrzeby lotnictwa cywilnego

2.1.1. Rodzaje potrzeb

Potrzeba, jaka daje się odczuwać od bardzo dawna w lotnictwie cywilnym jest na pewno potrzeba dobrej łączności w skali światowej.

Stały wzrost ruchu lotniczego wymaga szybkich rozwiązań zarówno do zaspokojenia potrzeb ośrodków kontroli ruchu lotniczego, jak i ośrodków operacyjnych towarzystw lotniczych. Bliskie wprowadzenie do eksploatacji samolotów naddźwiękowych podkreśla jeszcze potrzebę utrzymywania stałej łączności o dużej niezawodności /nie podlegającej zwłaszcza przypadkowym zjawiskom propagacji/ i obejmującej swym zasięgiem Ocean Atlantycki i Ocean Spokojny.

Ta dobrze znana potrzeba uzyskania nowych środków łączności nie powinna przeszkodzić w określeniu przewidywanych problemów, jakie się pojawią mniej więcej za pięć lat w związku z koniecznością zapewnienia prawidłowego przepływu ruchu powietrznego w strefach o dużym natężeniu ruchu, takich jak Atlantyk Północny. Wiadomo, że w tych strefach został utworzony system dróg równoległych, pozwalający na rozdzielenie samolotów w płaszczyźnie poziomej w kierunku poprzecznym i wzdłuż dróg powietrznych oraz w płaszczyźnie pionowej. Separacja poprzeczna ma przy tym największe znaczenie, gdyż samoloty mają tendencje wybierania tej samej wysokości lotu /tzn. pułapu/, ponieważ sprawność silników odrzutowych jest w dużym stopniu zależna od tego wyboru. Z drugiej strony różnice czasu powodują koncentrację ruchu w godzinach

szczytu w takim stopniu, że nie można wyciągnąć wszystkich oczekiwanych korzyści z separacji wzdłużnej. Utrzymanie aktualnej separacji poprzecznej /60 mil morskich wraz z jednoczesną separacją pionową 1000 stóp/ nie powinno mieć dużego wpływu na transport lotniczy o szybkościach poddźwiękowych aż do około 1980 r., ale będzie miało znaczne skutki ekonomiczne w dziedzinie transportu lotniczego o szybkościach naddźwiękowych począwszy od 1976 r. Spowodowane to jest tym, że samolot naddźwiękowy przewozi ładunek handlowy /np. pewną liczbę pasażerów/ stosunkowo mały w stosunku do swej masy i że ładunek ten gwałtownie maleje przy odległościach powyżej 4000 mil morskich. Jest więc trudno uzyskać taki sam ładunek na trasie Frankfurt - Nowy Jork, jak na trasie Londyn - Nowy Jork i to tym trudniej, im bardziej trasa się oddala w kierunku poprzecznym od trasy optymalnej.

Rozwiązanie tego problemu może polegać na przyjęciu satelitarne-go systemu określania położenia samolotów, co pozwoli na zmniejszenie tej separacji poprzecznej do 30 mil morskich. Będziemy więc dysponowali nad oceanami systemem podobnym do tego, który instalowany jest w pobliżu portów lotniczych, gdzie dysponuje się radarem. Rozwiązanie to miałoby tę zaletę, że mogłoby być wykorzystywane efektywnie od chwili wprowadzenia do eksploatacji samolotu naddźwiękowego, będąc równocześnie sukcesywnie wprowadzane w eksploatacji samolotów poddźwiękowych.

Pozwoliłoby ono jednocześnie na uniknięcie znacznej liczby rozmów radiotelefonicznych pomiędzy ośrodkami kontroli ruchu a samolotami, ponieważ ich poruszanie się byłoby stale śledzone.

2.1.2. Określenie liczby kanałów telekomunikacyjnych niezbędnych dla lotnictwa cywilnego

Należy przede wszystkim stwierdzić, że kanał radiolokacyjny pozwalający na określenie położenia samolotów będzie jeden i jego utworzenie nie stwarza poważniejszych trudności technicznych. Za pomocą tego kanału trzeba będzie przekazywać dane w kierunku powietrze-Ziemia i Ziemia-powietrze /wysokość, położenie samolotu, itp./, ale nie będzie to wymagało większych szybkości niż 600 bodów.

Przeciwnie, liczba kanałów telefonicznych lub kanałów do transmisji danych o szybkości 1200 bodów zależy od natężenia ruchu powietrznego nad każdym z oceanów, od wielkości i liczby rejonów oceanicznych /Flight - Information Region, czyli FIR/ przydzielonych przez ICAO poszczególnym państwom i w końcu od potrzeby zapewnienia towarzystwom lotniczym zasięgu światowego.

Na Oceanie Atlantyckim główne FIR stanowią: Shannon - Prestwick, Gander, Nowy Jork, San Juan i Lizbona, ale konieczne jest zapewnienie obsłużenia innych FIR, takich jak Dakar i Recife. Potrzebne by było począwszy od 1975 r. co najmniej 5 kanałów telefonicznych dla tych wszystkich FIR łącznie; do tego minimum można się będzie ograniczyć jedynie w przypadku istnienia służby radiolokacyjnej, co pozwoliłoby niektórym ośrodkom kontroli ruchu na współużytkowanie tych samych kanałów. Dla towarzystw lotniczych - wydaje się, że 2 kanały telefoniczne stanowią minimum. Do wszystkich tych kanałów telefonicznych należy dodać 2 kanały transmisji danych o szybkości 1200 bodów.

W rejonie Oceanu Spokojnego 3 do 4 kanały telefoniczne wydają

się wystarczające. Do tego można by dodać kanał transmisji danych o szybkości 1200 bodów.

Na koniec, można sobie również wyobrazić, że ośrodki kontroli ruchu lotniczego w rejonie Afryki i Oceanu Indyjskiego również będą wykorzystywały łączność satelitarną, ale jest jeszcze za wcześnie, aby móc oszacować liczbę potrzebnych kanałów telefonicznych.

T a b l i c a 1

Szacunkowe zapotrzebowanie na kanały telefoniczne

		Lotnictwo cywilne		Żegluga morska	
		kanały telefon.	kanały o szybkości 1200 bodów	kanały telefon.	kanały teleksowe 75 bodów
1975	Atlantyk	6-8	2	4-6	12-15
	Pacyfik	3-4	1	2-3	4-6
1980	Atlantyk	12-16	4-6	12-16	40-60
	Pacyfik	8-10	2-6	4-6	15-25
lata					
1985	Atlantyk	25	15	25	100
do					
1990	Pacyfik	20	10	10	50

W tablicy 1 podano szacunkowo dane co do rozwoju potrzeb lotnictwa w rejonie Oceanu Atlantyckiego i Spokojnego w założeniu większego tempa wzrostu liczby kanałów transmisji danych niż liczby kanałów telefonicznych. Rysunek 1^{x/} przedstawia sumaryczną liczbę tych kanałów.

x/ Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

Należy zauważyć, że w latach 1985 do 1990 potrzebne będzie około 100 kanałów telekomunikacyjnych dla dwu oceanów.

2.2. Potrzeby żeglugi morskiej

2.2.1. Rodzaje potrzeb

Podobnie jak dla lotnictwa cywilnego najbardziej oczywiste potrzeby dotyczą połączeń telefonicznych i transmisji danych, zwłaszcza łączy dalekopisowych o szybkości 50 do 75 bodów. Łącza te powinny pozwolić z jednej strony na nawiązywanie dwukierunkowych połączeń pomiędzy ośrodkami operacyjnymi towarzystw żeglugowych a ich flotą, a z drugiej - zapewnić realizację łączności w służbie publicznej.

Służba określania położenia statków środkami radiowymi może się okazać również wysoce użyteczna w przypadku katastrof, w sferach o dużym natężeniu ruchu /np. w kanale La Manche/ oraz jako precyzyjny środek dla nawigacji/w95% przypadków można uzyskać dokładność 0,1 do 0,5 mili morskiej/ w celu optymalizacji drogi morskiej w zależności od warunków meteorologicznych i stanu morza.

2.2.2. Określenie liczby kanałów potrzebnych dla żeglugi morskiej

Główne drogi morskie - są to: drogi na Atlantyku północnym i południowym, drogi afrykańskie /od Zatoki Perskiej do Europy Zachodniej/ i drogi Oceanu Indyjskiego /pomiędzy Japonią a wschodnim wybrzeżem Afryki/. Jakkolwiek mniej ważne drogi na północnym Oceanie Spokojnym są to również drogi o dużym ruchu.

Należy zwrócić szczególną uwagę na wielkość floty tankowców i rudowęglowców /około 8000 w 1969 r., powyżej 10000 w 1980/ - statków, których tonaż przekracza na ogół 10000 ton [3]. Należy do tego doliczyć w latach osiemdziesiątych około 6000 statków handlowych lub handlowo-pasażerskich o wyporności powyżej 6000 ton, z których większość powinna korzystać ze służby satelitarnej.

Można przypuszczać, że w 1980 r. na drogach Atlantyku /w tym na drogach dookoła Afryki/ 8000 statków korzystać będzie ze służby łączności satelitarnej, podczas gdy na Oceanie Indyjskim i północnej części Oceanu Spokojnego można ich liczbę szacować na 3000. Ze względu na czas trwania ładowania i wyładowania należy się liczyć z jednoczesną obecnością na morzu 6500 statków na Atlantyku i 2500 na Oceanie Indyjskim i Spokojnym.

Jeśli rozmowa telefoniczna trwa średnio 2 minuty, 1 kanał telefoniczny ze współczynnikiem wykorzystania 50% zapewnia 360 rozmów na dobę. 15 kanałów telefonicznych wystarczyłoby więc załadowanie do zapewnienia przeciętnie 1 rozmowy na dobę na 1 statek na Atlantyku.

Dla teleksu zapotrzebowanie szacuje się aktualnie na około 300-400 słów na dobę na 1 statek, co określa czas trwania transmisji na około 8 minut przy szybkości 75 bodów. W ten sposób jeden kanał teleksowy wykorzystywany w 50% pozwoliłby na przekazanie 90 telegramów na dobę, ale przy scentralizowaniu telegramów i przy małej liczbie stacji /np. 4/ ten współczynnik wykorzystania mógłby być zwiększony do 80%. Pięćdziesiąt kanałów teleksowych zapewniłoby więc przekazanie około 7000 telegramów na dobę, co zaspokoiłoby potrzeby na Atlantyku. W tablicy 1 zebrano te rezultaty, a rys. 2 przedstawia przewidywany wzrost liczby tych roz-

mailowych kanałów. Znaczna liczba kanałów teleksowych skłania nas do poszukiwania już obecnie rozwiązań technicznych, które pozwoliłyby na uniknięcie tego, aby kanał teleksowy zajmował takie samo pasmo częstotliwości jak kanał telefoniczny. Zobaczymy w następnym rozdziale poświęconym podstawowym charakterystykom systemu, jakie nasuwają się tu możliwości.

3. JAKIE NALEŻY WYBRAĆ PODSTAWOWE CHARAKTERYSTYKI SYSTEMU?

Wybór charakterystyk technicznych systemu stwarza wiele problemów, gdyż od charakterystyk tych zależy ekonomika systemu, jego efektywność eksploatacyjna, jego własności i na koniec efektywność wykorzystania widma częstotliwości. Nie trzeba zapominać również, że pierwszy system uruchomiony w latach 1975-1980 powinien być przystosowany do rozbudowy aż do r. 1990, przy wykorzystaniu urządzeń lotniczych i morskich, praktycznie nie zmienionych.

Konieczne będzie przejście od pierwszej generacji satelitów do drugiej /która zgodnie z tabl. 1 będzie miała trzykrotnie większą zdolność przepustową/, zapewniając doskonałą ciągłość ruchu, to znaczy wykorzystując ten sam system łączności i tę samą technikę modulacji.

Z tego punktu widzenia należy podchodzić do problemu wyboru częstotliwości poszczególnych łączy radiowych, charakterystyk anten stacji ruchomych, i na koniec, możliwości oferowanych przez rozmaite rodzaje modulacji.

3.1. Częstotliwości dla połączeń satelita-stacja ruchoma i satelita-stacja naziemna

Jak już powiedzieliśmy, wybór częstotliwości dla połączeń satelita-stacja ruchoma spowodował wiele kontrowersji, ale wydaje się, że szereg państw wybrało już częstotliwości w zakresie mikrofalowym pomiędzy 1540 a 1660 MHz. Niektórzy specjaliści będą może żałować, że nie będzie udostępniony dla tego celu zakres częstotliwości około 400 MHz, ale można by ich przekonać, że z punktu widzenia ekonomicznego występuje tylko nieznaczna różnica pomiędzy zakresami częstotliwości 400 i 1600 MHz.

Odnosnie łączności satelita-stacja naziemna można mieć wątpliwości co do wykorzystania zakresu mikrofalowego 1540-1660 MHz, czy też zakresu większych częstotliwości, na przykład około 5000 MHz. Analiza charakterystyk pokładowych urządzeń retransmisyjnych satelitów prowadzi do przyjęcia koncepcji dwóch oddzielnych urządzeń retransmisyjnych dla wyeliminowania problemów, jakie się nasuwają w związku z intermodulacją pomiędzy sygnałami w kanałach satelita-stacja ruchoma i satelita-stacja naziemna. Urządzenie retransmisyjne dla relacji satelita-stacja ruchoma pracuje z dużą mocą wyjściową /rzędu 100 W/, podczas gdy urządzenie retransmisyjne relacji satelita-stacja naziemna ma moc wyjściową rzędu 5 W. Wykorzystywanie odmiennych zakresów częstotliwości przez te urządzenia retransmisyjne nie stwarza trudności, gdyż pozwala to na łatwiejsze rozdzielenie rozmaitych sygnałów, a zwłaszcza na lepsze wykorzystanie będącego do dyspozycji zakresu częstotliwości 1540-1660 MHz. Korzyści te powinny skłonić państwa do wybrania zakresu częstotliwości około 5000 MHz dla rela-

cji satelita-stacja naziemna. Narzuca to naturalnie konieczność wyposażenia satelity w antenę na ten zakres częstotliwości, ale budowa takich anten nie następuje trudności technicznych ze względu na ich małe wymiary.

3.2. Anteny samolotowe i okrętowe

Wybór częstotliwości związany jest również ściśle z charakterystykami anteny i pewne jest, że częstotliwości w zakresie mikrofalowym około 1600 MHz wymagają stosunkowo dużych zysków anten dla stacji ruchomych, zawartych w granicach od 10 dB dla samolotu i 13 do 15 dB dla statku. Zupełnie zrozumiałe jest, że przyszli użytkownicy tych anten ustosunkowali się z początku z rezerwą do tych charakterystyk. Jednak próby techniczne i eksploatacyjne, które już zostały przeprowadzone i które kontynuowane będą w fazie rozwojowej satelitów, powinny przyczynić się do wycofania tych zastrzeżeń i przeciwnie - wykazać wszystkie korzyści, jakie wynikają z tych charakterystyk: wyeliminowanie zaników sygnału spowodowanych propagacją wielośrodową, poprawienie jakości łączności i zwiększenie zdolności przepustowej systemu.

Dla samolotu antena o zysku 10 dB wymaga automatycznej orientacji wiązki w kierunku satelity w zależności od kursu, od kołysania i od położenia samolotu, co da się zrealizować za pomocą bardzo prostego kalkulatora. Jeśli chodzi o statki, których ruchy są o wiele bardziej powolne, antena może być zmontowana na podstawie semi-stabilizowanej, pozwalającej na utrzymanie stałej wartości azymutu w granicach na przykład $\pm 5^\circ$ i kompensującej zbyt sil-

ne wychylenia przy kołysaniu. Masa anteny /o kształcie paraboli i średnicy 50 cm/ nie powinna przekraczać 10 kg, a jej podstawa powinna być mała i niedroga. Antena miałaby wiązkę o szerokości około 25° , co pozwoliłoby na zorientowanie jej raz na dzień w kierunku satelity, pozwalając na szczątkowe ruchy podstawy w granicach rzędu $\pm 7,5^{\circ}$. Można więc ograniczyć wymagania eksploatacyjne narzucane przez te anteny, a ich zyski pozwalają na otrzymanie znacznej zdolności przepustowej wyrażonej w liczbie kanałów telekomunikacyjnych, jak to zobaczymy badając rozmaite rodzaje modulacji.

3.3. Rodzaje modulacji

Wiemy, że satelity będą musiały zapewnić kanały telefoniczne, kanały transmisji danych o dużej szybkości /1200 bodów/ dla lotnictwa cywilnego i o małej szybkości /50 lub 75 bodów/ - dla żeglugi morskiej. Dla systemu światowego liczba kanałów będzie wynosiła prawdopodobnie około stu w latach 1985-1990 zarówno dla lotnictwa cywilnego, jak i dla żeglugi morskiej, z wyjątkiem być może kanałów dalekopisowych, których liczba może przekroczyć 200.

Wiemy skądinąd, że rodzaj modulacji, jaki zostanie wybrany, będzie prawdopodobnie utrzymany co najmniej podczas dwóch generacji satelitów w celu wykorzystania tych samych charakterystyk urządzeń nadawczo-odbiorczych dla stacji ruchomych.

Jeśli dla transmisji danych wybór rodzaju modulacji nie stwarza problemu ze względu na powszechnie uznaną efektywność systemu modulacji fazowej, to sprawa ma się inaczej, jeśli chodzi o kanały telefoniczne, gdzie zarówno modulacja częstotliwościowa jak i

modulacja cyfrowa delta odznaczają się własnymi specyficznymi zaletami. Aby dokonać wyboru, należy przestudiować cały system telekomunikacyjny /w tym wpływ tego wyboru na wykorzystanie widma częstotliwości i na dostęp do poszczególnych kanałów dla stacji naziemnych i stacji ruchomych/. Co by się stało, gdyby w urzędzeniu retransmisyjnym satelity wzmacniać sygnały 10 kanałów telefonicznych lub kanałów transmisji danych na 10 oddzielnych częstotliwościach nośnych? Aby uniknąć problemów związanych z intermodulacją pomiędzy tymi sygnałami, należałoby rozmieścić te kanały tak, żeby te 10 kanałów zajmowały pasmo odpowiadające 60 sąsiadującym kanałom. Jeśliby szerokość kanału wynosiła 75 kHz, to potrzebne byłoby pasmo o szerokości 4,5 MHz. Ponieważ około 1985 roku trzeba będzie utworzyć 20 do 50 kanałów w systemie satelitarnym, widać z tego, że problem jest poważny, tym bardziej że strefy "oświetlane" przez satelity będą się na siebie nakładać, nie pozwalając prawdopodobnie na wykorzystywanie tych samych częstotliwości. Jedno z rozwiązań tego problemu polega na utworzeniu "grup kanałów" przy wykorzystaniu tylko jednej częstotliwości nośnej dla każdej grupy 3 do 5 kanałów. Można w ten sposób zwielokrotnić na tej samej częstotliwości nośnej łącza telefoniczne, łącza transmisji danych, a nawet sygnały określania położenia. W związku z tym dla łącza telefonicznego korzystniejsza jest technika cyfrowa, gdyż pozwala ona na zwielokrotnienie sygnałów w czasie, co stało się łatwe i tanie dzięki wykorzystaniu układów scalonych. Tablica 2 podaje przykłady systemów zwielokrotnienia, które mogłyby zostać wybrane przez lotnictwo cywilne i żeglugę morską; zawierają one tę samą strukturę podstawową o 3 kanałach po 24 kbit./s każdy, z których dwa pierwsze zarezer-

T a b l i c a 2

Przykłady wielokrotnienia cyfrowego

	Lotnictwo cywilne	Żegluga morska
Szybkość transmisji	72 kbit/s / 3 kanały po 24 kbit/s.	72 kbit/s / 3 kanały po 24 kbit/s
Pierwszy kanał	pierwszy kanał telefoniczny	pierwszy kanał telefoniczny
Drugi kanał	drugi kanał telefoniczny	drugi kanał telefoniczny
Trzeci kanał	2/10 kod synchronizacji	2/10 kod synchronizacji
/ wielokrotnione wtórnice/	2/10 kod określania położenia 6/10 transmisja danych o szybkości 600 lub ewen- tualnie 1200 bodów	2/10 kod określania położenia 6/10 kanałów teleksowych
Odstęp pomiędzy dwoma grupami wielokrotnie- nia lub wykorzystywane pasmo / z marginesem/	200 kHz	200 kHz

wowane są dla dwóch kanałów telefonicznych, a trzeci jest zwielokrotniony wtórnie 10 lub 3-krotnie; w tych kanałach tworzy się kanały dalekopisowe lub jeden kanał transmisji danych o szybkości 600 bodów.

Za pomocą tego rodzaju zwielokrotnienia, dla utworzenia 10 kanałów telefonicznych lub kanałów transmisji danych wystarczyłoby 5 pasm po 200 kHz, czyli 1 MHz. Wykorzystanie widma byłoby więc poprawione w stosunku przeszło 4-krotnym; stosunek jest jeszcze większy w przypadku kanałów dalekopisowych lub gdyby założyć utworzenie 30 kanałów.

Ale czy wykorzystanie takich systemów zwielokrotnienia nie pociąga za sobą trudności w uzyskaniu dostępu do systemu przez stacje naziemne lub stacje ruchome? Stwierdzimy przede wszystkim, że to zwielokrotnienie dotyczy tylko łączności od stacji naziemnych do stacji ruchomych, gdyż łączność od stacji ruchomych do stacji naziemnych realizowana jest na tylu częstotliwościach nośnych, na ilu pracują w danej chwili stacje ruchome. Nie stanowi to niedogodności, gdyż łączność satelita-stacja naziemna jest łatwa do zrealizowania i pozwala na małą sprawność nadajnika satelity, który może pracować na linearnej części charakterystyki napięciowo-prądowej /eliminuje to niebezpieczeństwo intermodulacji pomiędzy sygnałami - widmo częstotliwości jest więc dobrze wykorzystywane/. Oczywiście jest, że dla łączności stacja naziemna-stacja ruchoma przyjęcie rodzaju modulacji "grupami kanałów" lub zwielokrotnienia czasowego implikuje mniejszą liczbę stacji naziemnych, to znaczy większą centralizację łączy zarówno wychodzących, jak i przychodzących. Ta zasada centralizacji jest już w trakcie wdrażania w lotnictwie cywilnym, wydaje się jednak mniej chętnie przyjmowana

przez żeglugę morską. Faktycznie, jeśli miałyby się do dyspozycji 2 lub 4 systemy wielokrotne dla każdego oceanu i elastyczność eksploatacyjna byłaby wystarczająco duża, centralizacja kanałów /która i tak jest niezbędną dla sygnałów określania położenia/ mogłaby być nie tylko do przyjęcia, ale może nawet pożądana. Omówimy jeszcze bardziej szczegółowo możliwości wykorzystania eksploatacyjnego satelitów.

4. PERSPEKTYWA WYKORZYSTANIA EKSPLOATACYJNEGO TROJSATELITOWEGO SYSTEMU ATLANTYK-PACYFIK

Można obecnie przewidzieć umieszczenie na orbitach dwóch generacji satelitów:

- Pierwsza generacja, która oddana byłaby do eksploatacji w latach 1975 - 1980, miałaby ograniczoną zdolność przepustową według tabl. 1 i powinna obejmować przynajmniej 3 satelity na orbicie: 2 nad Atlantykiem i 1 na Pacyfikiem. Jeśli jeden z satelitów nad Atlantykiem uległby uszkodzeniu, nowy satelita na jego miejsce mógłby być umieszczony na orbicie w terminie trzech miesięcy. Jeśli uszkodzenie nastąpiłoby na satelicie nad Pacyfikiem, przesunięto by wzdłuż orbity jeden z satelitów atlantyckich, aby umieścić go w pozycji uszkodzonego satelity znad Pacyfiku /na co potrzebny byłby okres czasu około tygodnia/, a następnie wprowadzono by nowego satelitę nad Atlantykiem. Pozwoliłoby to na utrzymanie prawie nieprzerwanej służby na Atlantyku i Pacyfiku, przy ograniczonej liczbie satelitów. Przeprowadzona za pomocą specjalnego programu symulacyjnego analiza niezawodnościowa systemu wykazała, że faktycznie należałoby wyprodukować 5 satelitów, z których przeciętnie 4 znajdowałyby się na orbicie.

- Dla drugiej generacji, która oddana byłaby do eksploatacji w latach 1980-1987, zdolność przepustowa musi być duża - przeszło trzykrotnie większa niż dla pierwszej generacji i prawdopodobne jest, że na orbicie będzie się wtedy znajdować 5 satelitów - 2 nad Atlantykiem, 2 nad Pacyfikiem i 1 nad Oceanem Indyjskim. Drugi satelita nad Pacyfikiem zastąpiłby w ciągu jednego tygodnia każdego z uszkodzonych satelitów w sposób opisany przy pierwszej generacji.

Rysunek 3 przedstawia strefy objęte zasięgiem trzech satelitów geostacjonarnych pierwszej generacji. Należy zauważyć, że służba telekomunikacyjna zapewniona jest na głównych trasach światowych zarówno lotniczych, jak i morskich. Z drugiej strony służba określania położenia zapewniona jest w rejonie Atlantyku, gdzie najbardziej ostro występują problemy kontroli ruchu lotniczego i nawigacji morskiej.

Jak mogłyby być więc zorganizowane w skali eksploatacyjnej służby: telekomunikacyjna i określania położenia? Można wyjść z założenia, że satelity pierwszej generacji będą miały masę 300 kg i będą orientowane wg trzech osi, to znaczy że dysponować one będą mocą prądu stałego rzędu 250 W dla urządzeń retransmisyjnych.

Można również założyć, że zdolność przepustowa każdego z satelitów będzie zredukowana do 50% podczas zaćmień, które występują w okresach od mniej więcej 1 marca do 15 kwietnia i od 1 października do 15 listopada. Czas trwania tych zaćmień szacuje się na około 1 godziny. Przy tych charakterystykach satelity i przy zysku anteny pokładowej na samolocie 10 dB i 13 dB na statku można sobie wyobrazić podział mocy będącej do dyspozycji na satelicie; służba lotnicza dysponowałaby na przykład mocą 180 W, a służba

morska - mocą 80 W. Zdolność przepustowa systemu dla obu służb byłaby jednakowa.

W każdym z satelitów byłyby do dyspozycji 4 tory uwielokrotnione, takie jak opisano w tabl. 2:

- dla lotnictwa cywilnego 2 tory uwielokrotnione po 72 kbit/s, to znaczy: 4 kanały telefoniczne, 2 kanały transmisji danych i 1 kanał dla sygnału określania położenia,
- dla żeglugi morskiej 2 tory uwielokrotnione po 72 kbit/s z 4 kanałami telefonicznymi, 16 kanałami dalekopisowymi i kanałem dla sygnału określania położenia.

Podczas zaćmienia któregoś z satelitów wykorzystywane byłyby tylko 2 tory uwielokrotnione: 1 dla lotnictwa cywilnego i 1 dla żeglugi morskiej. Pozwoliłoby to zwłaszcza na zapewnienie nieprzerwanej służby na Atlantyku północnym, gdzie szczytowe natężenie ruchu wypada niekiedy w czasie zaćmienia.

Nad Atlantykiem, gdzie byłyby do dyspozycji 2 satelity, można by przewidzieć 4 stacje naziemne dla służby lotniczej i 4 dla służby morskiej, to znaczy tyle, ile jest torów uwielokrotnionych, ale stacje funkcjonowałyby parami. Należałoby ustalić specjalną procedurę wykorzystywania sygnału określania położenia, który byłby identyczny na przykład dla pierwszego toru uwielokrotnionego satelity S1 i dla pierwszego toru satelity S2. Faktycznie dla potrzeb kontroli ruchu lotniczego, a ściślej mówiąc dla określania położenia, należałoby przydzielić oddzielne tory uwielokrotnione dla poszczególnych stref w celu umożliwienia stosowania prostej procedury wywołania i uzyskania lepszej efektywności wykorzystania łączy telekomunikacyjnych.

Dla lotnictwa cywilnego, strefy ograniczone przez FIR Shanwick, Gander i Reykjavik biorą na siebie przeszło połowę ruchu atlantyckiego, można by więc przydzielić tym strefom po jednym torze na satelitę. Inne FIR /Nowy York, San Juan, Lizbona, Dakar, Recife/ podzieliłyby się drugim torem uwielokrotnionym. Dla żeglugi morskiej ze względu na dużą gęstość ruchu w pobliżu wybrzeży Europy i Afryki można by przydzielić po jednym torze uwielokrotnionym w każdym z satelitów dla statków na wschód od 20° długości zachodniej. Drugi tor uwielokrotniony obsługiwałyby drogi Atlantyku północnego i południowego.

Rysunek 4 ilustruje ten przykład rozdziału kanałów, który należałoby oczywiście przeprowadzić /byłby to jeden z głównych celów etapu poprzedzającego wdrożenie systemu do eksploatacji/, z uwzględnieniem potrzeb towarzystw lotniczych i morskich i organizacji ich sieci telekomunikacyjnych. Rysunek ten wskazuje nam, że już obecnie istnieją realne możliwości podziału satelitów pomiędzy lotnictwo cywilne i żeglugę morską i to takiego podziału, który łatwo może uwzględnić specyfikę potrzeb obu tych dziedzin.

Najbardziej odczuwalna korzyść takiego podziału polega na rozdzieleniu kosztów segmentu kosmicznego, które stanowią około 60% całkowitych kosztów systemu. Zobaczmy jeszcze, jaki jest rząd wielkości nakładów inwestycyjnych do poniesienia.

5. MOŻLIWOŚCI REALIZACJI PIERWSZEJ GENERACJI SATELITÓW

Decyzja opracowania i wyprodukowania pierwszej generacji satelitów mogłaby nastąpić w niezbyt odległym terminie po Światowej

Administracyjnej Konferencji Telekomunikacyjnej Kosmicznej.

Wiadomo już, że kraje europejskie - członkowie Europejskiej Organizacji Badań Kosmicznych /CERS/ESRO/ zdecydowały podjąć szczegółowe studia nad systemem i wyborem koncepcji satelity, a zwłaszcza nad metodami kontroli jego zachowania się. Rezultaty tych badań, których publikację przewidywano w grudniu 1971, pozwoliłyby na podjęcie prac nad budową satelitów już w 1972 r.

Biorąc pod uwagę terminy niezbędne do rozpisania ofert i wyboru kontrahenta /6 miesięcy/ z jednej strony i do opracowania satelitów z drugiej strony, można się spodziewać, że pierwszy satelita mógłby być wyniesiony na orbitę w lipcu 1974 r. System Atlantyk - Pacyfik o trzech satelitach byłby w tym przypadku uruchomiony około stycznia 1975 r, co pozwoliłoby na dokonanie jego oceny przed oddaniem do eksploatacji w ciągu 1975 r. Na początku 1976 r. większa część systemu mogłaby być przygotowana do oddania do eksploatacji, zwłaszcza dla połączeń telefonicznych i teleksowych oraz dla określania położenia dla samolotów naddźwiękowych. Na koniec około 1977 r., po osiągnięciu dużej liczby użytkowników i po dopracowaniu procedur eksploatacyjnych, można będzie uznać fazę eksploatacyjną za zrealizowaną.

Koszty takiego systemu wyniosłyby 105 do 125 milionów dolarów według podziału przedstawionego w tabl. 3. Należy zauważyć, że zdolność przepustowa drugiej koncepcji satelitów jest prawie dwukrotnie większa niż pierwszej. Ryzyko związane z opracowaniem satelity stabilizowanego wg trzech osi jest naturalnie większe i tylko szczegółowe studia przeprowadzone w 1971-72 r. mogą pozwolić na dokonanie tego wyboru.

Jeśli chodzi o taryfy opłat za poszczególne rodzaje usług, to ich

T a b l i c a 3

Szacunek kosztów systemu Atlantyck/Pacyfik o trzech satelitach

Koncepcje satelity / 300 kg/	Stabilizowany obrotowo /mln. dolarów/	Stabilizowany według trzech osi /mln. dolarów/
Opracowanie satelitów	30	40
Koszt pięciu satelitów	30	38
Koszt czterech rakiet nośnych	28	28
2 stacje naziemne	4	4
15% kosztów ogólnych i nie przewidywanych	92	110
	14	16
R a z e m	106	126

dokładne określenie będzie możliwe dopiero w etapie przedekspluatacyjnym systemu. Niemniej jednak dla pierwszej generacji satelitów można już obecnie określić na około 1,5 miliona dolarów maksymalny roczny koszt jednego kanału telefonicznego dla lotnictwa cywilnego i na około 1 mln dolarów - dla żeglugi morskiej; ta różnica wynika z mniejszej mocy wykorzystywanej przez satelitę dla 1 kanału w służbie morskiej /zysk anteny w tym kanale jest o około 3 dB wyższy od zysków anteny na samolocie/.

6. WNIOSKI

Jeśli jest jeszcze za wcześnie dla określenia wszystkich charakterystyk ekonomicznych i eksploatacyjnych satelitów w służbie ruchomej lotniczej i morskiej, można z zaufaniem zaangażować się w ich opracowanie, gdyż ryzyko finansowe jest ograniczone.

Aby to ryzyko zmniejszyć, należy spełnić kilka warunków. Po pierwsze konieczne jest, aby państwa skłonne do finansowania etapu przedekspluatacyjnego rozwoju systemu chciały nawiązać ze sobą współpracę w skali międzynarodowej i żeby w związku z tym prowadziły między sobą stałe konsultacje w celu wypracowania uzgodnionego wspólnego stanowiska w sprawie wyboru systemu.

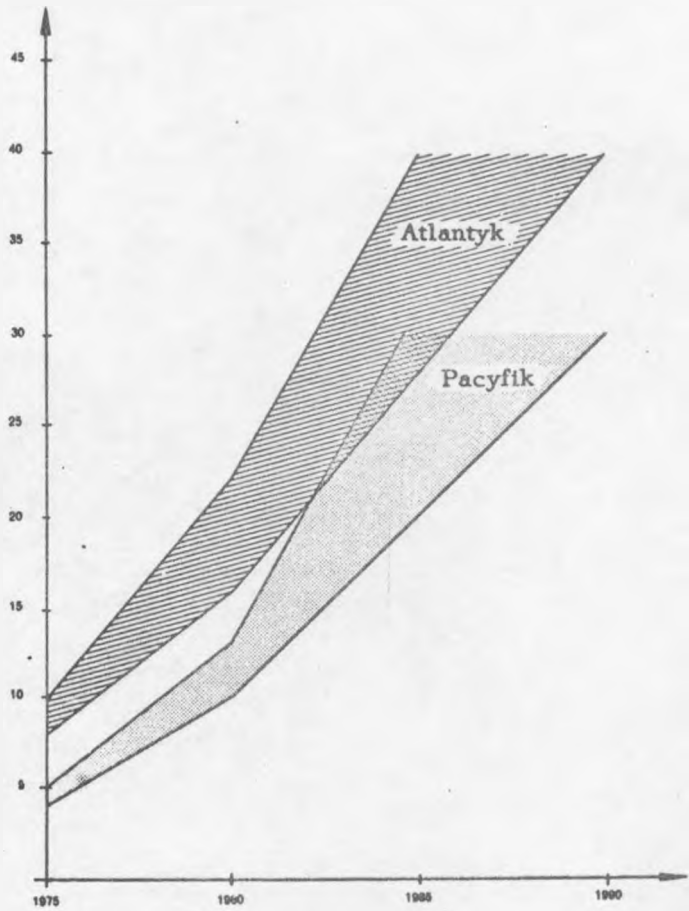
Integracja państw Europy Zachodniej mogłaby tu służyć za przykład. Pozwoliła ona tym państwom na odegranie dominującej roli w opracowaniu koncepcji systemu i w oparciu o tę bazę mogłaby przyczynić się do nawiązania na zupełnie nowych zasadach współpracy z Kanadą i ze Stanami Zjednoczonymi. Wielkość flot europejskich, zarówno lotniczej jak i morskiej, usprawiedliwia ogromne zainteresowanie Europy rozwojem służby ruchomej już od fazy przedekspl-

atacyjnej. Floty te skądinąd stanowią najlepszą gwarancję dla innych państw, jeśli chodzi o optymalizację wszystkich charakterystyk systemu kosmicznego.

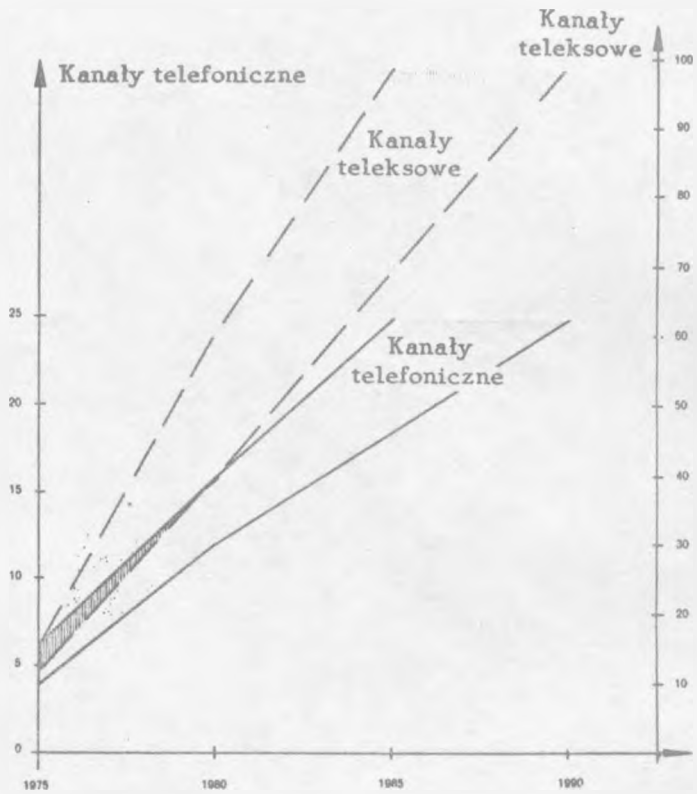
Drugi warunek dla zmniejszenia ryzyka finansowego dotyczy niezbędnej wspólnoty systemu lotniczego i morskiego. Niezbędne jest, aby organizacje narodowe zarządzające służbą ruchomą lotniczą i służbą ruchomą morską porzuciły swoje obawy co do systemu, w którym występuje pojęcie współużytkowania. Wykazaliśmy przecież, że z punktu widzenia eksploatacyjnego to współużytkowanie satelitów mogłoby być zrealizowane w taki sposób, żeby wzajemne przeszkody ograniczone zostały do minimum, w założeniu że dla obu służb wybrane zostaną zbliżone charakterystyki techniczne.

WYKAZ LITERATURY

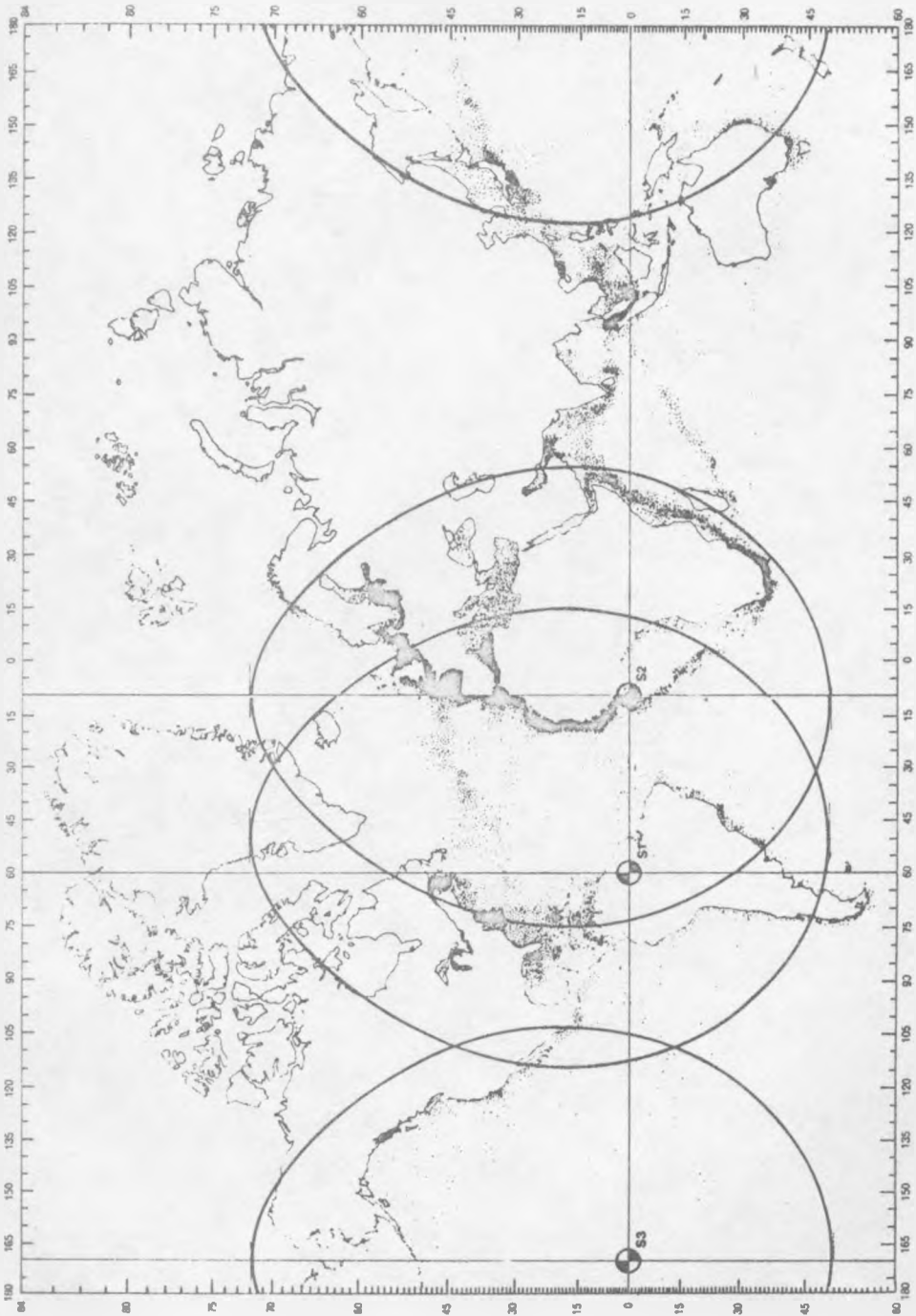
1. Briefing on ESRO/NASA experimental and preoperational aeronautical satellite system. Paris 26/8/70 - CERS/ESRO.
2. Projet Dioscures 1972-1985. CNES - SGAC /France/.
3. A study of maritime mobile satellites. Automated Marine International.
4. Manuali B. et Ganier C. : Etude économique des systèmes de telecommunications, de contrôle du trafic aérien et de navigation par satellite. J. Telecomm. 1970 t. 37 nr 1, s. 17-30.



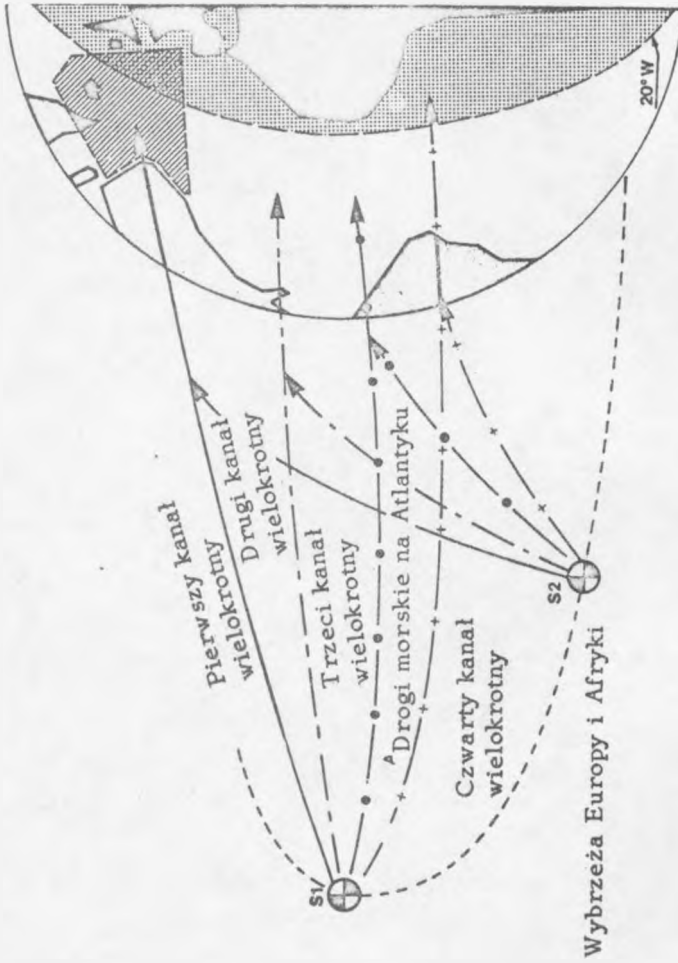
Rys. 1. Przewidywana liczba kanałów telefonicznych i kanałów do transmisji danych o szybkości 1200 bodów dla lotnictwa cywilnego na oceanach: Atlantyckim i Spokojnym



Rys. 2. Przewidywana liczba kanałów telefonicznych i telexowych dla
 marynarki handlowej na Oceanie Atlantyckim /w tym również dla drogi
 dookoła Przylądka Dobrej Nadziei/



Rys. 3. Strefy obsługiwane przez 3 satelity / wiązka anteny 16,5° / i rozkład gęstości ruchu żeglugi morskiej [3]



Rys. 4. Przykład rozdziału kanałów w zależności od gęstości ruchu lotniczego i morskiego

ZASTOSOWANIE METOD ŁĄCZNOŚCI KOSMICZNEJ W RUCHOMYCH SŁUŻBACH LOTNICZYCH

Opracował J. Zygierewicz na podstawie artykułu ICAO:
The application of space techniques in the aeronautical
mobile service. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 5, s.402-
-405.

Jednym z zasadniczych zadań ICAO /Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego/ jest śledzenie i pobudzanie rozwoju wszystkich nowych środków technicznych, które mogą potencjalnie przynieść korzyści międzynarodowemu lotnictwu cywilnemu. Z tego też względu zainteresowanie ICAO sprawami wykorzystania satelitów do celów radionawigacji datuje się już od 1957 roku, w którym to roku pierwszy sztuczny satelita został wprowadzony na orbitę okołoziemską.

Perspektywy wykorzystania satelitów do przekazywania wiadomości zamiast konwencjonalnych dalekosiężnych, ruchomych systemów łączności lotniczej, odznaczających się z założenia dużymi ograniczeniami możliwości zastosowań, pobudziły wyobraźnię wielu ludzi. Jednak dopiero w 1965 r. te teoretyczne rozważania zaczęły być częściowo urzeczywistniane. Przy wykorzystaniu satelity geostacjonarnej Syncom III została zrealizowana dwukierunkowa łączność dalekopisowa na falach bardzo wielkiej częstotliwości pomiędzy samolotami lecącymi nad obszarami Oceanu Spokojnego i położoną w odległości około 6000 mil stacją naziemną w Kalifornii. Następnie w 1967 roku została wprowadzona na tym samym obszarze przy wykorzystaniu satelity ATS-1 dwukierunkowa łączność telefo-

niczna, zrealizowana pod auspicjami organizacji NASA /Krajowa Organizacja do Spraw Przestrzeni Kosmicznej/ i organizacji do spraw krajowego lotnictwa cywilnego. Zapoczątkowało to rozszerzony program prób i badań, w których wzięło udział 11 organizacji lotniczych z ośmiu krajów, wykorzystując satelity ATS-1 i ATS-3. Program obejmował wiele różnych badań naukowych, wyniki których wykazały, że realizacja eksploatacyjnych systemów łączności z samolotami za pomocą satelitów jest już przy obecnym stanie techniki zupełnie możliwa.

Zebranie plenarne ICAO odbywa się normalnie co 3 lata. Zarówno w 1965 jak i 1968 r. zebrania te potwierdziły zainteresowanie ICAO wykorzystaniem przestrzeni kosmicznej, a rezolucja tego zebrania z 1968 r., oznaczona numerem A16-11, głosi między innymi:

/2/ "postanawia się, że ICAO będzie odpowiedzialna za określenie stanowiska międzynarodowego lotnictwa cywilnego we wszystkich sprawach dotyczących przestrzeni kosmicznej i określenie szczegółowych wymagań międzynarodowych służb lotnictwa cywilnego w odniesieniu do spraw technicznych związanych z wykorzystaniem tej przestrzeni",

/3/ "wzywa się Radę do podjęcia badań i pomiarów, jakie mogą być niezbędne do ustalenia tych stanowisk i wymagań",

/4/ "prosi się Sekretarza Generalnego o zapewnienie, aby wszystkie ustalone stanowiska i wymagania były podane do wiadomości wszystkim organizacjom zajmującym się zagadnieniami przestrzeni kosmicznej oraz kontynuowanie starań o zapewnienie obecności przedstawicieli Organizacji ICAO na konferencjach i

spotkaniach, poświęconych sprawom, w których jest zainteresowane międzynarodowe lotnictwo cywilne".

W tymże roku 1968 ICAO powołało Zespół Ekspertów do wyrażania technicznych zainteresowań międzynarodowego lotnictwa cywilnego sprawami wykorzystania przestrzeni kosmicznej. Zespół ten, zwany ASTRA /Wykorzystanie Technik Kosmicznych dla Potrzeb Lotnictwa/, został powołany do następujących zadań:

a/ "do określenia tych technik kosmicznych, które mogłyby zaspokoić ustalone lub przewidywane ogólnoświatowe wymagania międzynarodowego lotnictwa cywilnego";

b/ "do ustalenia tych zastosowań technik kosmicznych, które oferują możliwość poprawy w zakresie bezpieczeństwa, regularności i sprawności działania międzynarodowych służb lotniczych i dają się zrealizować bardziej ekonomicznie niż to byłoby możliwe przy wykorzystaniu technik niekosmicznych; określenie danych, przez wprowadzenie których interesujące lotnictwo techniki byłyby dostatecznie rozwinięte dla praktycznego wykorzystania, oraz ustalenie odpowiednich wymagań na parametry systemu".

Należy podkreślić, że Zespół Ekspertów ICAO jest złożony z przedstawicieli małej liczby krajów i zainteresowanych organizacji międzynarodowych i że jego zadaniem jest tylko doradztwo Komisji do Spraw Nawigacji Lotniczej. Skutkiem tego Zespół ASTRA nie ma uprawnień do bezpośredniego określania polityki ICAO w sprawach satelitów dla potrzeb lotnictwa, aczkolwiek jego wnioski i zalecenia mają prawdopodobnie duży wpływ na kierunek tej polityki. Rolę Zespołu Ekspertów ICAO wytłumaczono w tym celu, aby nie było nieporozumień co do formalnego znaczenia przedstawione-

go tu materiału, który stanowi podsumowanie wyników prac prowadzonych do tej pory przez Zespół ASTRA.

ZASTOSOWANIE TECHNIK KOSMICZNYCH W MIĘDZYNARODOWYM LOTNICTWIE CYWILNYM

Pierwszym zadaniem podjętym przez Zespół ASTRA było określenie listy potencjonalnych obszarów zastosowań technik kosmicznych w międzynarodowym lotnictwie cywilnym. Określono trzydzieści siedem wyraźnych obszarów zastosowań, zgrupowanych w siedmiu głównych dziedzinach:

- łączność z samolotami w locie;
- zadania nawigacji i bezpieczeństwa w przypadkach nagłego zagrożenia;
- stałe służby łączności;
- określenie pozycji i zagadnienia poszukiwania oraz wyprowadzenia z niebezpieczeństwa;
- pomiary i przekazywanie danych dotyczących atmosfery;
- wykrywanie i ostrzeganie o promieniowaniu;
- zastosowanie do celów medycznych.

Zespół przeanalizował listę w celu wybrania tych zakresów zastosowań, które mogłyby najbardziej przyczynić się do poprawy obecnej sytuacji. Podkreślił przy tym, że przy ustalaniu listy preferencyjnej mogą jeszcze w przyszłości zajść zmiany w świetle prowadzonych obecnie badań w zakresie kosztów i korzyści płynących z realizacji poszczególnych służb. W wybranej liście wymieniono następujące zasadnicze funkcje systemów łączności satelitarnej dla potrzeb lotnictwa:

- służby ruchu lotniczego w zakresie łączności telefonicznej powietrze-Ziemia;
- służby ruchu lotniczego w zakresie transmisji danych powietrze-Ziemia;
- łączność powietrze-Ziemia w zakresie kontroli operacyjnej dokonywanej przez towarzystwa lotnicze;
- transmisja danych powietrze-Ziemia w zakresie kontroli operacyjnej dokonywanej przez towarzystwa lotnicze;
- służby kontroli powietrznej lotów i kontroli odległości pomiędzy samolotami.

Lista ta nie została ułożona z myślą o określeniu priorytatywnej kolejności. Stwierdzono, że wymagania na systemy łączności powietrze-Ziemia i systemy określania pozycji w celach poszukiwań i wyprowadzania z niebezpieczeństwa mogą stanowić część składową pierwszej i ostatniej funkcji wymienionych powyżej.

ZAKRESY CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWYCH SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ DLA POTRZEB LOTNICTWA

Jednym z najbardziej kontrowersyjnych zagadnień była przez kilka lat sprawa wyboru optymalnego zakresu częstotliwości dla pracy linii samolot-satelita w systemach łączności satelitarnej dla potrzeb lotnictwa. Początkowe badania sugerowały, że gdyby pominąć ograniczenia narzucane przez IFRB, największe korzyści zapewniłoby wykorzystanie częstotliwości w zakresie 400-600 MHz.

Ze względu jednak na te ograniczenia zainteresowania skierowano na zakresy częstotliwości 118-136 MHz i 1540-1660 MHz /pasmo L/. Podczas pierwszych trzech zebrań zespołu ASTRA wiele uwagi poświęcono sprawie częstotliwości i chociaż wyniki pomiarów propagacyjnych potwierdziły celowość wykorzystania pasma L, pojawiło się powszechne przekonanie, że potrzeba jeszcze wielu prób i badań porównawczych zanim będzie można wyciągnąć ostateczne wnioski. W czasie prac przygotowawczych do czwartego zebrania w styczniu 1971 roku zespół był zachęcany przez Komisję Nawigacji Powietrznej do maksymalnego wysiłku w celu osiągnięcia porozumienia w sprawie określenia najbardziej właściwych zakresów częstotliwości. W efekcie tego większość członków zespołu doszła do wniosku, że jest dostateczna ilość danych do stwierdzenia, że właśnie pasmo L powinno być przede wszystkim wybrane dla linii łączności satelita-samolot.

Biorąc pod uwagę: że jest małe prawdopodobieństwo, iż stanowisko powyższe ulegnie zmianie, że można bez zbędnego ryzyka uniknąć straty czasu i dodatkowych kosztów związanych z potwierdzeniem słuszności tego wyboru, że zabierze około dziesięciu lat czasu określenie wymagań i realizacja pełnosprawnego systemu łączności dla celów aeronautyki, zespół powziął decyzję /przy jednym sprzeciwie/ w sprawie zalecenia wyboru pasma L dla linii łączności satelita-samolot.

Zespół doszedł do tych wniosków, biorąc pod uwagę takie sprawy, jak:

- warunki propagacji,
- koszty,
- sprzęt,

rozkład kanałów radiowych,
określanie pozycji samolotu metodami radiowymi,
dostępność określanych przez UIT zakresów częstotliwości.

W odniesieniu do ostatniej z wymienionych spraw zespół stwierdził, że wybór zakresu częstotliwości powinien być przeprowadzony zgodnie z zaleceniami Regulaminów Radiowych UIT, uzupełnionymi na Światowej Administracyjnej Konferencji Radiowej Łączności Kosmicznej /Genewa, czerwiec-lipiec 1971 r./, która przewiduje dla potrzeb linii łączności satelita-samolot między innymi wykorzystanie zakresów częstotliwości 118-132 MHz i 1540-1660 MHz.

CHARAKTERYSTYKI SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ DLA POTRZEB LOTNICTWA

Zadanie określenia podstawowych parametrów systemów łączności satelitarnej dla potrzeb lotnictwa zostało nieco ułatwione przez fakt podjęcia decyzji co do wykorzystywanego zakresu częstotliwości, ponieważ wystarczy obecnie rozpatrzeć tylko warunki pracy linii łączności samolot-satelita na częstotliwościach 1540-1660 MHz. Pomimo to należy powziąć szereg postanowień co do takiego systemu, przy czym w wielu przypadkach są one podyktowane szczególnymi warunkami otoczenia kosmicznego i ograniczeniami możliwości instalacji urządzeń pokładowych samolotu, szczególnie anteny.

Wiele krajów podejmuje zakrojone na szeroką skalę badania mające na celu wybór optymalnych metod modulacji dla przesyłania sygnałów rozmównych i transmisji danych, jak również naprowadzania samolotów w chwilach zagrożenia. Stwierdzono przydatność różnych metod, lecz zdaniem zespołu ASTRA należy przeprowadzić

jeszcze dalsze studia i badania, zanim będzie mógł być dokonany jednoznaczny wybór metody najbardziej właściwej.

PRZEWIDYWANE TERMINY WPROWADZENIA DO EKSPLOATACJI SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ DLA POTRZEB LOTNICTWA

Istnieje wiele różnych programów, które mogą być podstawą ustalania planów realizacji omawianych systemów, ale warunkiem realizacji każdego z nich jest osiągnięcie takich lub innych międzynarodowych uzgodnień, co może mieć oczywiście trudny do przewidzenia wpływ na terminy wprowadzenia systemów do eksploatacji. Jednym ważnym wnioskiem zespołu ASTRA, który ma zastosowanie dla dowolnego wariantu programu, jest ten, że wprowadzenie do użytku systemów eksploatacyjnych musi być poprzedzone próbami przeprowadzonymi na systemach zrealizowanych w celach doświadczalnych. Pojęcie "system doświadczalny" uzyskało specjalne znaczenie w toku prac zespołu ASTRA, a mianowicie:

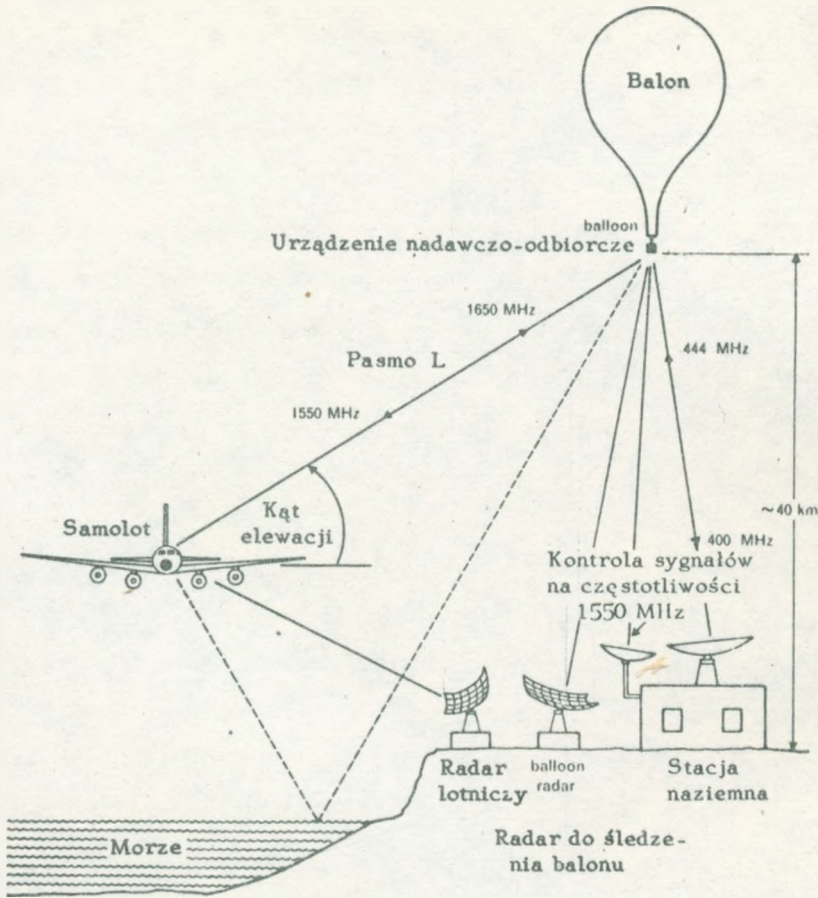
"Systemy doświadczalne powinny być wstępnymi systemami łączności kosmicznej dla potrzeb lotnictwa do przeprowadzenia badań w zakresie aspektów technicznych i operacyjnych systemów. Dla umożliwienia dokonania oceny w tym zakresie systemy te powinny pracować równolegle z konwencjonalnymi systemami łączności i radionamierzenia, stosowanymi przez służby kontroli powietrznej. Jest rzeczą zrozumiałą, że wyposażenie samolotów w potrzebne do tych doświadczeń urządzenia będzie odbywało się na zasadach całkowitej dobrowolności. Jest również rzeczą oczywistą, że aczkolwiek niektóre z tych systemów mogą być projektowane z myślą ich

wykorzystania w przyszłości jako systemy eksploatacyjne, to inne mogą pozwalać tylko na spełnianie niektórych funkcji, które powinny być realizowane przez ostateczny system eksploatacyjny".

Bez zagłębiania się w szczegółową analizę wydaje się, że oddanie do użytku w pełni eksploatacyjnego systemu nastąpi nie wcześniej niż około 1980 r. Trudności w osiągnięciu niezbędnych międzynarodowych uzgodnień formalnych mogą przedłużyć ten termin o około pięciu lat.

BIEŻĄCA DZIAŁALNOŚĆ BADAWCZO-DOŚWIADCZALNA

Kompleksowe spojrzenie na poczynania różnych organizacji w tym zakresie wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Jest jednakże jeden program badań podejmowany jako podstawowy przez wiele krajów, który budzi szczególne zainteresowanie ze względu na nowy sposób podejścia do zagadnienia. Próby w zakresie tego programu rozpoczęły się w drugiej połowie 1970 r. i obejmują badania symulacyjne, polegające na zastąpieniu satelity przez urządzenia nadawczo-odbiorcze unoszone przez balon umieszczony na wysokości 40 km nad obszarami południowej Francji /rys. na str.134/. W połączeniu z wykorzystaniem samolotu krążącego nad Zatoką Biskajską było możliwe porównanie różnych metod modulacji przy przesyłaniu sygnałów rozmównych, transmisji danych i namierzania na falach radiowych w pasmie L, określenie, jaki wpływ na rozpatrywaną łączność ma zjawisko wielodrogowego rozchodzenia się sygnałów oraz wypróbowanie pokładowych urządzeń na pasmo L, a w szczególności anteny o zysku około 10 dB. 12 balonów zostało wypuszczonych w 1970 r. i każdy z nich pozwolił na przeprowadzenie prób w czasie około dwóch godzin.



Schemat systemu doświadczalnego

SPODZIEWANE KORZYŚCI WYKORZYSTANIA EKSPLOATACYJNYCH SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ DLA POTRZEB LOTNICTWA

Przy uzasadnianiu wprowadzania jakiegoś nowego systemu /zwłaszcza gdy całkowity koszt realizacji tego systemu w ciągu około dziesięciu lat może wynosić kilkaset milionów dolarów/ jest rzeczą pożądaną, o ile jest to możliwe, wyszczególnić korzyści płynące z

wykorzystywania systemu dla usprawiedliwienia wymaganych inwestycji. W przypadku systemu łączności satelitarnej, pozwalającego na realizację określonej liczby międzykontynentalnych łączy telefonicznych i telegraficznych, jest sprawą stosunkowo prostą obliczenie efektywności inwestycji. W przypadku systemu łączności satelitarnej dla potrzeb lotnictwa istnieje jednak wiele potencjalnych korzyści, które trudno jest szczegółowo określić i wymienić, zwłaszcza że wiele z przewidywanych funkcji systemu satelitarne-go nie mogłoby być zrealizowane przez systemy konwencjonalne, co dodatkowo utrudnia porównanie kosztów.

Główne oczekiwane korzyści płynące z wykorzystywania systemu przez transoceaniczne linie lotnicze można ująć w trzech zasadniczych grupach:

1. Radiokomunikacja:

- zwiększenie niezawodności i dostępności,
- zwiększenie możliwości komunikowania się pomiędzy pilotem i kontrolą ruchu powietrznego,
- zwiększenie operacyjnych możliwości kontroli linii lotniczych.

2. Radionamierzenie:

- zmniejszenie wymaganych standardowo odstępów pomiędzy samolotami przy tym samym lub nawet zwiększonym bezpieczeństwie, co z kolei prowadzi do:
 - obniżenia bezpośrednich kosztów eksploatacji służb powietrznych,
 - poprawy wskaźników ekonomicznych przy przewozie ładunków,
 - oszczędzenie czasu podróży.

3. Zmiany w infrastrukturze:

- zlikwidowanie /w odpowiednim czasie/ pewnych urządzeń telekomunikacyjnych służb naziemnych, przeznaczonych do współpracy z samolotami i pracujących w zakresach wielkiej i bardzo wielkiej częstotliwości,
- konsolidacja niektórych obszarów kontroli nad oceanami, co w konsekwencji pozwala na zmniejszenie liczby central kontroli ruchu.

WNIOSKI

Z przedstawionych poprzednio rozważań wynika jasno, że jest jeszcze wiele do zrobienia w łączności krajowej i międzynarodowej zanim będzie można w pełni odczuć korzyści płynące z wprowadzenia do eksploatacji systemów łączności dla potrzeb lotnictwa. Ponadto, jeżeli pragnie się zrealizować taki system około 1980 roku, należy niezwłocznie przystąpić do szczegółowego opracowania wymagań operacyjnych, określenia parametrów systemu, zakresów regionalnych zastosowań oraz ustaleń finansowych i organizacyjno-administracyjnych. Sprawy te niewątpliwie w znacznym stopniu zaabsorbują ICAO w najbliższych latach.

