

1 9 6 5

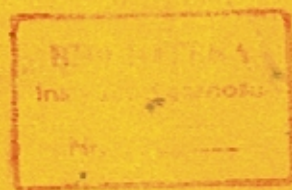
Nr 4 (43)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

WARSZAWA — MIEDZESZYN

*Bilicki*

PRZEGLĄD  
ZAGADNIEN  
ŁĄCZNOŚCI







PRZEGLĄD  
ZAGADNIEN  
ŁĄCZNOŚCI

---

ROK 5

WARSZAWA 1965

NR 4(43)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

**Kolegium Redakcyjne:**

---

**Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler**  
**Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner**

**Członkowie:**

**mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,**  
**prof. Stefan Jasiński, mgr inż. Stanisław Kobus,**  
**mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko,**  
**mgr Zofia Życińska**

**Sekretarz Redakcji - Irena Kulko**

**Adres Redakcji:**

**Instytut Łączności**

**Ośrodek**

**Informacji Techniczno-Ekonomicznej**

**Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1**

**NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO**

**Redaktor: J. Borkowska**

**Montaż tekstu: B. Drabik**

---

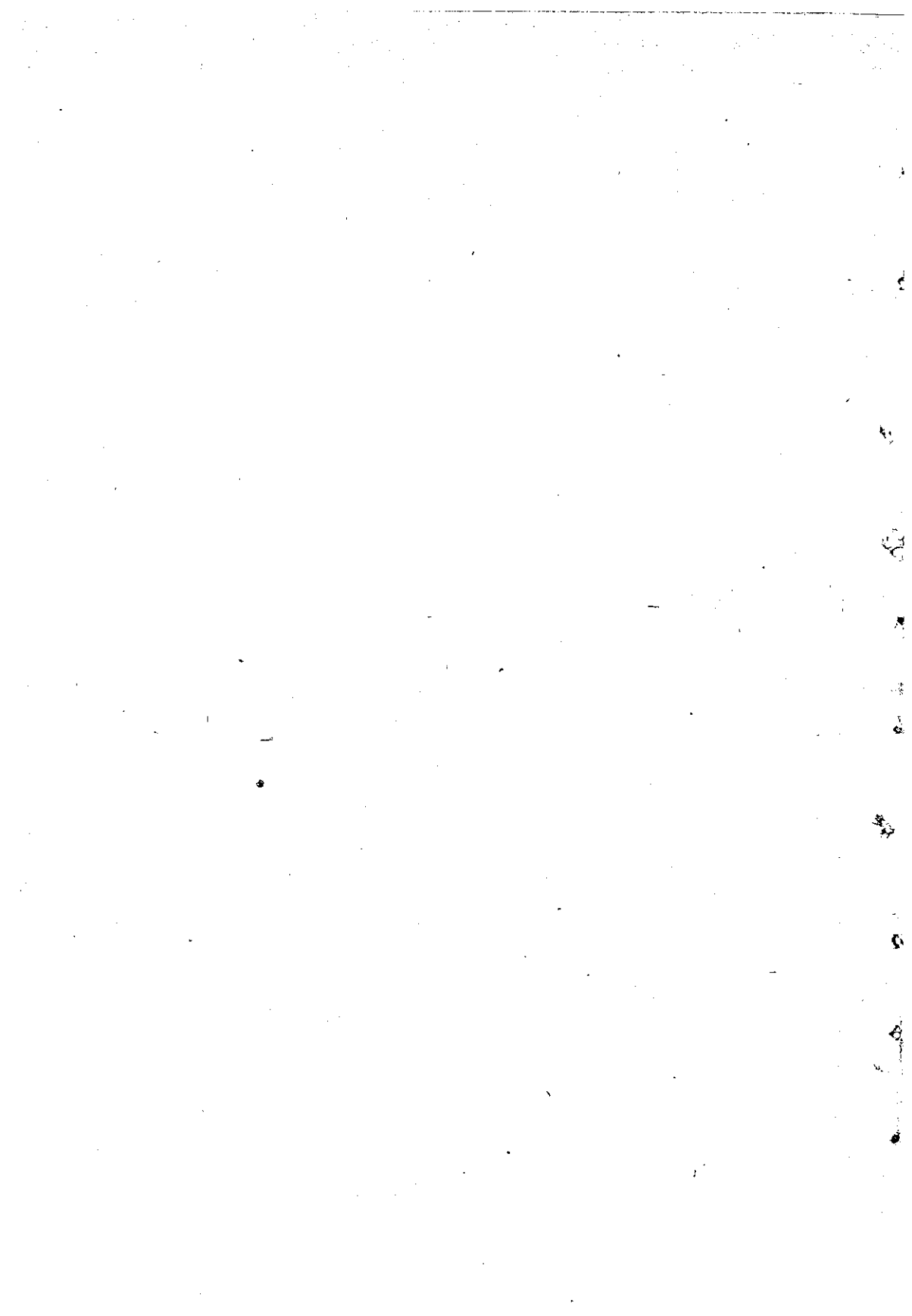
**Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności**  
**Format B5. Nakład 680. Druk ukończono**  
**we wrześniu 1965 r.**

**PRZEGLĄD  
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI**

**Elektroniczne maszyny liczące  
Część II**

**SPIS TREŚCI**

	Str.
1. Optymalne projektowanie i użytkowanie sieci telekomunikacyjnych - opracował Zb. Dudziński	1
2. Badanie wydajności ruchowej niedoskonałych wiązek łączy, wychodzących z jednostopniowych wielokroci, za pomocą elektronicznej maszyny matematycznej - opracował M. Feret	29
3. Standaryzacja przemieszanych wielokroci jednostopniowych w niemieckiej technice telekomutacji - opracował M. Feret	60



**OPTYMALNE PROJEKTOWANIE I UŻYTKOWANIE  
SIECI TELEKOMUNIKACYJNYCH**

Opracował Zb. Dudziński<sup>1)</sup>

Artykuł przedstawiony na wspólnej konferencji  
Institute of Management Science i Operations  
Research Society of America, University of Ca-  
lifornia, Los Angeles, 30 maja 1956 r.

**1. WSTĘP**

W problematyce badania sieci telekomunikacyjnych roz-  
różnia się dwie podstawowe grupy zagadnień: zagadnienia  
użytkowania sieci i zagadnienia projektowania sieci. Ni-  
niejszy artykuł przedstawia całokształtowe ujęcie i spo-  
sób rozwiązywania tych obu grup zagadnień w sposób cha-  
rakteryzujący się dużą elastycznością i całkowicie róż-  
niący się od dotychczasowego ich traktowania. Roz-  
dział 2 podaje ogólny opis metody. Rozdziały 3 i 4 za-  
wierają omówienie zagadnień optymalnego kierowania i  
optymalnego projektowania w ujęciu programowania linio-  
wego. Zagadnienie optymalnego kierowania polega na wy-  
znaczeniu najlepszego planu kierowania informacji lub  
połączeń telefonicznych, gdy dany jest zbiór potrzeb  
użytkowników i pojemności sieci. Zagadnienie projekto-  
wania polega na tym, jak najekonomiczniej zbudować, roz-  
budować lub przebudować sieć przy zachowaniu ustalone-

<sup>1)</sup> R.E. Kalaba, and M.L. Juncosa: Optimal Design and  
Utilization of Communication Networks. Management Science.  
October 1956, Vol. 3, nr 1, s. 33-44.

go stopnia jakości służby, gdy dany jest zbiór przewidywanych potrzeb użytkowników oraz zbiór jednostkowych kosztów komutacyjnych i liniowych. Ponieważ prawidłowe projektowanie powinno być uzależnione od przyszłego użytkownika sieci, oba więc te zagadnienia są wspólnie ujęte w tym artykule.

Wiele dotychczasowych analiz matematycznych dotyczących zagadnień telekomunikacyjnych było przeprowadzonych w założeniu, że najprostszym przypadkiem jest sieć obejmująca tylko jedną linię oraz że wyniki studiów nad wymianą informacji dla jednej linii są ważne i wystarczające dla analizy większych sieci. Tego rodzaju analizy matematyczne charakteryzowały się prawidłową formą i logicznym uzasadnieniem, często były oparte na teorii prawdopodobieństwa, teorii "ogonków"<sup>1)</sup>, algebrze Boole'a<sup>2)</sup> itp. Wiele tych analiz jest inspirowanych przez prace takich autorów teorii telefonii, jak Erlang [2], Jensen [9], Riordan, Wilkinson [11] i inni. Sam Erlang stwierdził:

---

1) Teoria "ogonków" (występująca też pod nazwą teorii masowej obsługi) jest działem probabilistyki zajmującym się mechanizmem powstawania ogonków i badaniem zależności między rozkładem "przybyć" i rozkładem czasów obsługi a prawdopodobieństwem takiej czy innej długości ogonków. Rozwiązywanie modeli probabilistycznych związanych z teorią ogonków przeprowadza się między innymi za pomocą tzw. metody Monte Carlo (przyp. oprac.)

2) Algebra Boole'a jest dziełem współczesnej algebry i jest szczególnym ujęciem teorii zbiorów; zajmuje się zależnościami między podzespółami danego zbioru uniwersalnego (przyp. oprac.).



"Od szeregu lat wszyscy specjaliści - może specjalnie w Danii - są przekonani, że teoria prawdopodobieństwa stanowi jedyną możliwą drogę do uzyskania w pełni racjonalnych metod zarządzania telefonią".

Należy oczywiście zgodzić się z taką tezą. Prowadzi to w sposób bezpośredni do analitycznego ujęcia kształtowania się zjawisk ruchowych, np. w jakimś określonym punkcie lub w jakiejś pojedynczej linii. Potwierdzeniem tego jest powszechno używanie wzoru Erlanga na straty i związanych z tym tabel.

W większości sieci telekomunikacyjnych informacje są nie tylko generowane, przesyłane i odbierane, ale również komutowane i tranzytowane. Jest jasne, że najprostszą sieć telekomunikacyjną musi zawierać co najmniej trzy centrale i trzy linie, aby umożliwić badanie problemów komutacji i problemów kierowania. Dla rozważenia komutacji tandemowej jest nawet niezbędna sieć o większej ilości central. Tak więc - przynajmniej w świetle tych aspektów - wyżej wspomniane założenie ograniczenia się do badania jednej linii jest nie do przyjęcia. Ponadto gdy się próbuje rozszerzyć analizę opartą o zasadę jednej linii dla objęcia nią zagadnień komutacji i tranzytu, wówczas pojawiają się komplikacje matematyczne, stanowiące przeszkodę nie do pokonania - nie mówiąc już o stronie obliczeniowej.

Pesymizm dotyczący możliwości analitycznego i obliczeniowego rozciągnięcia analizy na całą sieć znajduje odzwierciedlenie w następującej uwadze zaczerpniętej z The Bell System Technical Journal [7]:

"Chociaż pewne fragmenty tego zagadniczenia mogą być rozwiązywane za pomocą metod analitycznych z zakresu teorii prawdopodobieństwa, jest wątpliwe, czy środki matematyczne - poza zgrubnymi przybliżeniami - są przydatne do oceny działalności całej sieci. Nawet przy względnie prostych przypadkach współzależności między zmiennymi mogą być tak skomplikowane, że istniejące metody są całkowicie nieprzydatne".

Znaczenie studiów nad zagadnieniami sieci telekomunikacyjnych zostało, oczywiście, dawno docenione. Czterdzieści lat temu Moe [8] wprowadził do badań nad rozbudową telefonii zasady analizy marginalnej z ekonomii matematycznej<sup>1)</sup> [10]. W ostatnich czasach zostało opracowane eksperymentalne urządzenie, zwane "throwdown machines" [7], umożliwiające uzyskiwanie empirycznego rozwiązania zagadnień sieci telekomunikacyjnych, dla których nie opracowano właściwej metodologii analitycznej.

Aktualne poglądy panujące w kręgach specjalistów telekomunikacyjnych odbijają się również na obecnym ujęciu problemu kierowania. Powszechna praktyka polega na przesyłaniu informacji po ustalonej drodze bezpośredniej. Wówczas gdy aktualne potrzeby przewyższają pojemność,

---

1) Marginalizm jest kierunkiem ekonomii politycznej, w którym rozumowanie opiera się na wielkościach krańcowych (marginalnych); wielkości krańcowe są miarą dodatnich i ujemnych zmian wielkości globalnych; według tej teorii przy badaniu zależności funkcjonalnych (np. produkcji, kosztów, zysków, użyteczności) korzystne jest zastąpienie wielkości globalnych lub przeciętnych wielkościami krańcowymi (przyp. oprac.).

przesyła się nadwyżkę ruchu po ustalonej innej drodze: jeżeli potrzeby w dalszym ciągu przewyższają pojemność, przesyła się pozostałą nadwyżkę po ustalonej następnej drodze itd. Wybór tych dróg jest zazwyczaj dokonywany według zasady najmniejszej ilości stopni tranzytu łączeniowego. Jeżeli dwie możliwe drogi mają tę samą ilość stopni, to rozstrzygnięcie, która z nich będzie miała prawo pierwszeństwa, opiera się na statystyce ruchu i na intuicji i doświadczeniu autorów planu kierowania. Jednakże tego rodzaju postępowanie, nawet dla sieci zawierających centralne urządzenia kontroli ruchu, jest niedostateczne jako stosunkowo niezależne od aktualnych potrzeb i pojemności istniejących w danym momencie.

W niniejszym artykule jest przedstawione całkowicie odmienne i obliczeniowo rozwiązalne ujęcie badania sieci telekomunikacyjnych. Według tego ujęcia rozważane są aktualne potrzeby i możliwości (pojemności) sieci jako całości poprzez ich wpływ na stopień sprawności sieci. Analiza opiera się na modelu sieci telekomunikacyjnej - w najbardziej ogólnym pojęciu, który obejmuje istotne właściwości wszystkich typów sieci, niezależnie od wielkości, formy przekazywania informacji i charakterystyki technicznej - począwszy od służby posłańców czy służby pocztowej aż do krajowej lub międzynarodowej służby telefonicznej. Wskutek ogólnego ujęcia analiza charakteryzuje się elastycznością umożliwiającą jej zastosowanie w różnych przypadkach.

Istnieje łatwość modyfikacji metody dla uwzględnienia specyficznych cech rozpatrywanej sieci.

W celu przedstawienia tej metodologii omówiono tylko sformułowanie najbardziej ogólnych zagadnień projektowania i użytkowania w ujęciu programowania liniowego.

## 2. OGÓLNE OMÓWIENIE PROBLEMATYKI SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

Charakterystyka sieci obejmuje:

a) zbiór central, których funkcją jest generowanie, przesyłanie, odbieranie i tranzytowanie informacji,

b) zbiór linii łączących każdą centralę z każdą inną centralą za pomocą jednej linii lub zestawu linii tego zbioru,

c) zbiór potrzeb użytkowników w zakresie wymiany informacji.

W analizie będą występować następujące pojęcia:

1)  $a_{ij}$  - liczba informacji generowanych w centrali "i" w określonym czasie  $\tau$  a przeznaczonych dla innej centrali "j",

2)  $c_{ij}$  - pojemność linii między centralą "i" a inną centralą "j" w czasie  $\tau$ ,

3)  $d_{ij}$  - zcalony koszt na jednostkę pojemności linii  $c_{ij}$ ,

4)  $s_i$  - pojemność komutacyjna centrali "i" w czasie  $\tau$ ,

5)  $d_i$  - zcalony koszt na jednostkę pojemności komutacyjnej  $s_i$ .

6)  $x_{ijk}$  - liczba informacji przesyłanych z centrali "i" do innej centrali "j" w czasie  $\tau$  a przeznaczonych dla centrali "k" ( $i \neq k$ );

7)  $\varphi$  - współczynnik sprawności sieci w czasie  $\tau$ , tj. stosunek liczby informacji przekazanych do liczby informacji wytworzonych w ciągu czasu  $\tau$ .

Pierwsza definicja wprowadza do analizy wymagania użytkowników; wielkość  $a_{ij}$  równa zero oznacza po prostu, że centrala "i" nie generuje informacji przeznaczonych dla centrali "j" w ciągu czasu  $\tau$ . Druga i czwarta definicja ilustruje pojemność, czyli zdolność przenoszenia informacji fizycznie istniejącej sieci. Wielkość  $c_{ij}$  równa zero oznacza, że nie istnieje bezpośrednia linia między centralą "i" a centralą "j" albo z tego względu, że nie została zbudowana, albo z tego względu, że nie może być udostępniona w ciągu czasu  $\tau$ . Zależnie od systemu,  $c_{ij}$  może reprezentować jednokierunkową lub dwukierunkową pojemność linii. Podobnie w odniesieniu do pojemności komutacyjnej ściśle znaczenie  $s_i$  zależy od systemu; przyjmuje się, że pojemność komutacyjna jest maksymalną liczbą informacji, która może być dostarczona do urządzenia komutacyjnego i jest równa maksymalnej liczbie informacji, która może być wydana z urządzenia komutacyjnego w ciągu czasu  $\tau$ . Okres czasu  $\tau$  zależy od charakteru rozpatrywanego problemu. Przykładowo, może to być okres największego ruchu (godzina lub nawet mniej); powinien to być okres, w którym potrzeby i pojemności pozostają z rozsądnym przybliżeniem stale i obejmujące średni poziom szczytowy. Koszty jednostkowe

w trzeciej i piątej definicji powinny obejmować wszystkie elementy uwzględniając koszty projektowania, zakupu lub dzierżawy terenów, sprzętu, montażu, konserwacji eksploatacji, amortyzacji, ubezpieczeń i podatki. Ponieważ na ogół koszty jednostkowe nie są stałe, a zazwyczaj maleją przy wzroście wielkości obiektów, należy przeprowadzić oszacowanie kosztów jednostkowych.

Informacja jest tu pojęciem ogólnym; zależnie od rodzaju sieci mogą być to szeregi słów, jednostki CCS<sup>1)</sup> (jednostki powszechnie używane w telefonii), bity, a nawet przesyłki pocztowe.

Można zauważyć, że badany temat wykazuje analogię z tematem przepływu ruchu w mieście, gdzie pojazdy są odpowiednikami informacji, ulice - linii (ulice jednokierunkowe mają przepustowość równą zero w kierunku wzbrenionym), a skrzyżowania ulic są odpowiednikami central. Przepływ ruchu w obrębie regionu lub kraju jest podobnym tematem, przy czym miasta są odpowiednikami central, a szosy - linii. Również w tych tematach występują problemy zarówno optymalnego kierowania ruchu, jak i optymalnego projektowania układu dróg. W istocie rzeczy, w sensie abstrakcyjnym wszystkie te zagadnienia są identyczne i mogą być traktowane jak przepływ oddzielnych części ruchu w układzie liniowym. Prowadzi to w prosty

---

1) Jednostka ta używana w USA stanowi 100 połączeń-sekund. Jedna jednostka CCS na godzinę największego ruchu odpowiada  $\frac{1}{36}$  erlanga (przyp. oprac.).

sposób do sformułowania tych problemów w ujęciu programowania liniowego.

Programowanie liniowe [3] jest narzędziem badawczym, które bardzo gwałtownie rozszerza zakres swoich zastosowań. Programowanie liniowe nie dotyczy w zasadzie sfery sieci telekomunikacyjnych, natomiast zostało z powodzeniem zastosowane w badaniu problemów ekonomiki i zarządzania, takich jak np.: prace rafinerii naftowych, kierowanie ruchu lotniczego, transport morski towarów ze źródeł zaopatrzenia do magazynów, domów towarowych i innych odbiorców itp. Nawet prawidłowo zarządzane przedsiębiorstwo poprawia swoje wyniki o kilka procent poprzez zastosowanie metod programowania liniowego. W przedsięwzięciach o wielu milionach dolarów prowadzi to do zaoszczędzenia dużych sum pieniędzy, znacznie wyższych niż koszty związane z przeprowadzeniem obliczeń, które wymagają dużych maszyn cyfrowych o dużej szybkości. Wdrożenie tych metod do gałęzi przemysłu o bilionie dolarów - tak jak telekomunikacja - może przynieść imponujące efekty.

### 3. PROBLEM OPTYMALNEGO KIEROWANIA

Przedmiotem badania jest uzyskanie optymalnego planu kierowania, tzn. takiego zbioru niewiadomych  $x_{ijk}$ , który zapewniłby maksymalizację współczynnika sprawności sieci - przy występowaniu ograniczeń narzuconych potrzebami użytkowników i pojemnościami danej sieci.

Ujmując matematycznie - dla sieci o  $n$  centralach problem polega na maksymalizacji:

$$\text{(wsp. sprawności)} \quad \rho = \frac{\sum_{i,j} x_{ijj}}{\sum_{i,j} a_{ij}} \quad (1)$$

poprzez właściwy dobór zbioru nieujemnych niewiadomych  $x_{ijk}$  podlegających następującym ograniczeniom:

$$\text{(potrzeby)} \quad \sum_m x_{imj} - \sum_m x_{mij} \leq a_{ij} \quad (2)$$

$$\text{(pojemność linii)} \quad \sum_k x_{ijk} \leq c_{ij} \quad (3)$$

$$\text{(pojemność komutacyjna)} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j,k} x_{ijk} \leq s_i \\ \sum_{j,k} x_{kij} \leq s_i \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (4) \\ (5) \end{array}$$

Pierwsze ograniczenie dotyczy potrzeb. Podaje ono, że różnica pomiędzy sumą informacji skierowanych do centrali "j" i wychodzących z centrali "i" ( $i \neq j$ ) a sumą informacji skierowanych do centrali "j" i wchodzących do centrali "i" (tzn. generowanych w innych punktach sieci "m") nie może przewyższać ilości informacji generowanych w centrali "i" z przeznaczeniem dla centrali "j". Wielkość, o którą lewa strona nierówności jest mniejsza od



prawej strony, jest liczbą informacji przeznaczonych dla centrali "j", które zostały "zablokowane" w centrali "i" na koniec okresu  $T$ .

Nierówności (3), (4), (5) ilustrują ograniczenia strumienia informacji spowodowane pojemnościami sieci. Możliwa jest tutaj duża różnorodność warunków. Każdy system sieci posiada własną charakterystykę techniczną, która powoduje ograniczenia wielkości strumienia informacji. Dla przykładu sieci pocztowej należy wprowadzić pojęcie pojemności sortowania i do formułowanego modelu należy wprowadzić odpowiednią nierówność typu (3) lub (4).

Wszystkie te zagadnienia mogą być w zasadzie rozwiązywane za pomocą metody programowania liniowego, zwanej **simpleks**, wynalezionej przez George'a Dantzigá [5], [3]. Zapoznanie się z metodą **simpleks** umożliwia nadanie praktycznego znaczenia zmiennym swobodnym, wprowadzanym do modelu. W układzie nierówności typu (2), których jest  $n(n-1)$ , zmienne swobodne oznaczają ilość informacji "zablokowanych", natomiast w układzie nierówności typu (3), (4) i (5), których jest  $n(n+1)$ , zmienne swobodne są po prostu liczbą charakteryzującą niewykorzystanie pojemności linii i pojemności komutacyjnej.

W podanym ujęciu jest łącznie  $2n^2$  warunków typu (2) do (5) i prawie  $n^3$  zmiennych. Stanowi to potężny problem nawet dla umiarkowanej wielkości  $n$ . W sieci takiej jak Western Union System, która posiada 15 central rejonowych, wszystkie połączone wzajemnie między sobą, problem optymalnego kierowania obejmuje około 450 warunków i około 3000 zmiennych. Przy użyciu metody **simpleks** w jej najogólniejszej postaci stanowi to próg pojemności

nowoczesnych dużych maszyn liczących i rozwiązanie takiego problemu wymaga kilku godzin pracy maszyny.

Jednakże w przyszłości sytuacja ulegnie znacznej poprawie, gdy rozwiną się maszyny elektroniczne o większej pamięci i większej szybkości, umożliwiając rozwiązywanie większych problemów i z większą szybkością. Innym ważnym źródłem poprawy sytuacji są badania matematyczne. Problemy sieci telekomunikacyjnej przypominają klasyczny problem transportowy<sup>1)</sup> rozwiązywany metodami programowania liniowego. Problemy telekomunikacyjne są jednak bardziej skomplikowane, ponieważ każda stacja nie tylko nadaje i odbiera towary, jak w zagadnieniu transportowym Hitchcocka-Koopmansa, ale centrala telekomunikacyjna jest jednocześnie punktem nadawania, odbierania i tranzytu informacji. Badania matematyczne nad zagadnie-

1) Zagadnienie transportowe można sformułować w sposób następujący: Z danych  $m$  miejsc wysyłki, z których ma być wysłane  $a_i$  jednostek towaru, należy przewieźć do każdego z  $n$  miejsc przeznaczenia  $b_j$  jednostek tegoż towaru. Trzeba tak zaplanować przewóz, ażeby koszt transportu był minimalny. Niech  $x_{ij}$  oznacza ilość towaru przewożonego z  $i$ -tego miejsca nadania do  $j$ -tego miejsca przeznaczenia. Wtedy zadanie sprowadza się matematycznie do znalezienia takich nieujemnych wartości  $x_{ij}$ , które spełniają równości

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j$$

i dla których całkowity koszt przewozu

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

jest najmniejszy;  $c_{ij}$  jest kosztem przewozu jednostki towaru z  $i$ -tego miejsca nadania do  $j$ -tego miejsca przeznaczenia (przyj. oprac.).

niem transportowym umożliwiły znaczne zmniejszenie czasu obliczeń rozwiązania i można oczekiwać tego samego w stosunku do problemów sieci telekomunikacyjnej. Również są rozwiązywane podobne problemy dotyczące maksymalnego strumienia ruchu w sieci kolejowej [1] i [6]. Jak dotąd w stosunku do telekomunikacji są to jeszcze problemy otwarte i wymagają wielu dalszych badań.

Jest jeszcze jedna sprawa, która jak można oczekiwać, ułatwi rozwiązywanie problemów telekomunikacyjnych. W wielu sieciach, a szczególnie w sieci światowej, istnieje wiele takich skojarzeń dwóch punktów, między którymi nie ma bezpośredniej linii. W związku z tym odpowiednie wartości  $c_{ij}$  stają się zerem, co automatycznie eliminuje niewiadome  $x_{ijk}$ , występujące w nierównościach typu (3), w których  $c_{ij} = 0$ . To spostrzeżenie zmniejsza nakład pracy obliczeniowej związanej z rozwiązywaniem problemu.

Powracając do tematu formułowania modelu, okazuje się, że rozwiązanie problemu optymalnego kierowania może być ułatwione poprzez wprowadzenie zasady priorytetów. Możliwe są tu dwie metody postępowania. Pierwsza polega na rozwiązywaniu problemu najpierw uwzględniając jedynie informacje o najwyższym priorytecie, następnie po wydzieleniu tych pojemności, które były niezbędne dla informacji o najwyższym priorytecie, powtarza się rozwiązanie dla informacji kolejnej kategorii priorytetu i postępując w ten sposób dochodzi się aż do informacji o najmniejszym priorytecie. Jest to droga postępowania, którą by się stosowało, gdyby instrukcje zdecydowanie wy-

magaly, że informacje o mniejszym priorytecie nie mogą być przekazywane, gdy oczekują na przekazanie informacji o wyższym priorytecie. Natomiast, jeżeli instrukcje nie są zbyt rygorystyczne, a dają tylko ogólne wskazówki co do kierowania, wówczas w funkcji liniowej (1) przywiązuje się większą "wagę" do informacji o wyższym priorytecie niż do informacji w niższym priorytecie, zapewniając w ten sposób preferencję informacji o wyższym priorytecie. Czym wyższa "waga", tym jest bardziej prawdopodobne, że dana informacja zostanie przekazana. W podobny sposób, poprzez zastosowanie "wag", można zapewnić uprzywilejowanie przepływu ruchów przez określone centra i określone linie.

Rozważmy teraz możliwości posługiwania się rozwiązaniem problemu optymalnego kierowania. Według dzisiejszych możliwości jedyną drogą postępowania jest oparcie się na typowych wielkościach potrzeb i pojemności w warunkach (2) do (5), z tym że mogą one być nieco zaokrąglone w górę dla uwzględnienia wahań w czasie, następnie uzyskanie planu optymalnego kierowania poprzez rozwiązanie modelu matematycznego; rozwiązanie to stanowi wzorzec przy ustalaniu konkretnych planów kierowania, które zmieniają się dla różnych pór dnia. Taki optymalny plan, chociaż różni się dla różnych pór dnia i dla różnych dni, mógłby mimo to być stosowany jako ustalony wzorzec dla tych samych dni tygodnia (z wyjątkiem dni świątecznych wymagających specjalnego potraktowania). Ponadto jest możliwe obliczenie szeregu pomocniczych planów optymalnego kierowania dla sytuacji awaryjnych, w

których pewne pojemności zostają zredukowane do zera. Takie plany powinny być wraz z odpowiednią instrukcją eksploatacyjną przechowywane we wszystkich centralach. Tego rodzaju posługiwanie się metodą optymalnego kierowania jest wykonalne już dziś.

W przyszłości, może nawet już za parę lat, można rozważyć posiadanie centralnego urządzenia kontroli ruchu, gromadzącego w sposób ciągły informacje na temat bieżącego stanu potrzeb i pojemności sieci, następnie przeliczającego na odpowiednio dużej maszynie cyfrowej optymalny plan kierowania, a w końcu rozsyłającego ten plan do wszystkich central sieci. Szybkość przeliczenia optymalnego planu kierowania musi być rzędu ułamków godziny, jeżeli zmiany planu kierowania mają następować co godzinę. Nie wydaje się to nieosiągalne, jeżeli, jak to już wskazywano, wzrosną szybkości pracy maszyn, a badania matematyczne skierowane na uproszczenie obliczeń zapewnią oszczędności podobne do tych, jakie uzyskano przy algorytmie transportowym. Potrzebne maszyny liczące najprawdopodobniej będą musiały być specjalnego typu.

#### 4. PROBLEMY OPTYMALNEGO PROJEKTOWANIA

Problemy optymalnego projektowania sieci telekomunikacyjnych obejmują m.in. zaprojektowanie sieci telekomunikacyjnej o najniższym koszcie, zapewniającej określony stopień jakości służby<sup>1)</sup>. Może być oczywiście rozpa-

---

<sup>1)</sup> Przez stopień jakości służby (w oryg.: grade of service) należy w tym kontekście rozumieć straty ruchu (przyp. oprac.).

trywany przeciwny problem maksymalizacji stopnia jakości służby przy ustalonym koszcie. W niniejszym studium bada się przede wszystkim urządzenia komutacyjne i teletransmisyjne. Postęp w telekomunikacji jest tego rodzaju, że projektowanie sieci jest (a przynajmniej w najbliższym czasie będzie) podporządkowane wynikom analiz ekonomicznych, w których następuje wyważenie między z jednej strony kosztami komutacyjnymi a z drugiej strony kosztami teletransmisyjnymi. W niniejszym studium dąży się do uzyskania prostych modeli, gdyż podstawowym celem prezentowanych zasad jest bardziej przedstawienie samej metodologii niż ścisłość w szczegółach. Zostanie jednak pokazane, w jaki sposób mogą być wzięte pod uwagę takie dodatkowe momenty, jak modernizacja wyposażenia, niedostateczne możliwości zakupu sprzętu i niezgodność warunków technicznych wynikających z różnorodności sprzętu.

Problem projektowania jest w istocie rzeczą problemem podjęcia złożonych decyzji. Dokonuje się wyboru wyposażenia technicznego oraz związanego z tym planu kierowania w ten sposób, aby uzyskany system i tryb eksploatacji zapewniał określony stopień jakości służby przy minimalnych kosztach. Ten ścisły związek pomiędzy projektowaniem a wykorzystaniem sieci jest powodem równoległego rozważania tych obu problemów w niniejszym studium.

Często jest interesujące prowadzenie tego rodzaju studiów, w których niektóre wielkości miałyby charakter parametrów, np. dla uzmysłowienia sobie wpływu zmian su-

my środków finansowych na stopień jakości służby. Zostanie pokazane, że jest to wykonalne przez wyznaczenie krzywych ilustrujących minimalne nakłady niezbędne dla osiągnięcia różnych stopni jakości służby przy określonych przyszłościowych potrzebach. Potrzeby mogą być podane w postaci wartości ustalonych lub w postaci rozkładu wartości<sup>1)</sup>. Najpierw zostanie pokazane, jak może być potraktowany pierwszy przypadek, a potem - drugi. W końcu będzie rozważony problem zapewnienia wymaganego stopnia jakości służby w ciągu pewnej ilości lat przy minimum kosztów.

Zamiast rozważania problemu projektowania sieci "od zera" rozważmy bardziej ogólny i o wiele ważniejszy problem projektowania rozbudowy już istniejącej sieci dla zaspokojenia wzrostu przyszłych potrzeb. (Jest jasne, że problem projektowania "od zera" może być traktowany jako problem rozbudowy sieci o zerowych wartościach pojemności komutacyjnych i teletransmisyjnych). Oznaczenia przyjmuje się takie, jak w rozdz. 2 z tym uzupełnieniem, że  $c_{ij}^*$  i  $s_i^*$  oznaczają istniejące pojemności linii i urządzeń komutacyjnych;  $E_{\min}$  są to minimalne nakłady umożliwiające uzyskanie współczynnika sprawności sieci  $\rho$ .

Matematyczne sformułowanie problemu optymalnego projektowania przy jednoznacznie ustalonych potrzebach przedstawia się następująco:

---

<sup>1)</sup> W sensie teorii prawdopodobieństwa (przyp. oprac.)

Należy zminimalizować koszt rozbudowy sieci:

$$E = \sum_{i,j} d_{ij}(c_{ij} - c_{ij}^*) + \sum_i d_i(s_i - s_i^*) \quad (6)$$

przy czym zmienne (wszystkie nieujemne) podlegają następującym ograniczeniom:

$$\sum_m x_{imj} - \sum_m x_{mij} \leq a_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_k x_{ijk} \leq c_{ij}; \quad c_{ij} \geq c_{ij}^* \quad (8)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{j,k} x_{ijk} \leq s_i \\ \sum_{j,k} x_{kij} \leq s_i \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$s_i \geq s_i^* \quad (10)$$

$$\frac{\sum_{i,j} x_{ijj}}{\sum_{i,j} s_{ij}} \geq \varphi \quad (0 < \varphi \leq 1) \quad (11)$$

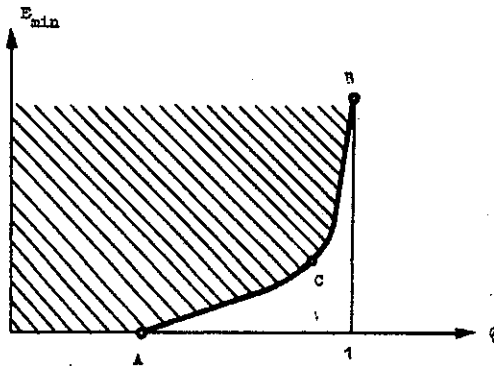
Niniejszy problem charakteryzuje się tym, że współczynnik sprawności sieci nie może być mniejszy niż  $\varphi$ . Zakłada się, że pojemności rozbudowanej sieci  $c_{ij}$  i  $s_i$  będą nie mniejsze niż  $c_{ij}^*$  i  $s_i^*$ , tzn. dla uproszczenia zakłada się, że nie będzie przemieszczeń istniejącego wyposażenia. Rozwiązanie polega na określeniu  $c_{ij}$ ,  $s_i$ ,  $x_{ijk}$  i  $E_{\min}$  przy danych wartościach  $c_{ij}^*$ ,  $s_i^*$ ,  $d_{ij}$ ,  $d_i$ .



$a_{ij}$  i  $\varphi$ ; rozwiązanie to dostarcza potrzebnych danych projektowych dotyczących pojemności, planu kierowania i minimum kosztu dla rozbudowanej sieci.

W ten sposób problem optymalnego projektowania przy ustalonych potrzebach sprowadza się do problemu programowania liniowego. Pod względem rozmiaru jest to problem cokolwiek większy niż problem optymalnego kierowania dla sieci o tej samej ilości central. Podobnie jak poprzednio należy poinformować, że rozwiązanie można uzyskać za pomocą metody simpleks albo jakiejś innej metody specjalnie opracowanej dla tego typu problemów.

Gdy problem zostanie już raz rozwiązany wyznaczając wartość  $E_{\min}$  odpowiadającą określonej wartości  $\varphi$ , wówczas można łatwiej uzyskać wartości  $E_{\min}$  dla innych zbliżonych wartości  $\varphi$ . W ten sposób  $E_{\min}$  może być wykreślone jako funkcja  $\varphi$ , jak to pokazano na rysunku umieszczonym poniżej.



Krzywa między punktami A i B wskazuje nakłady niezbędne dla uzyskania różnych stopni jakości służby przy

danym przewidywanym wzroście przyszłych potrzeb, danym stanie istniejącym sieci i danych jednostkowych kosztach rozbudowy. Jeżeli nie ponosi się żadnych nakładów na rozwój wyposażenia, wtedy uzyskany w przyszłości współczynnik sprawności sieci będzie mały (punkt A). Przy bardzo wysokich nakładach może być osiągnięty współczynnik sprawności równy jedności (punkt B). Krzywa łącząca te krańcowe punkty umożliwia dokonanie wyboru najkorzystniejszego "punktu pracy" uwzględniając z jednej strony aspekt nakładów, z drugiej strony - sprawności sieci. Można by sobie życzyć pracy w punkcie takim jak C. Ponieważ teoretycznie osiągalny współczynnik sprawności sieci jest praktycznie nie do uzyskania w dzisiejszych sieciach, należy zwrócić uwagę, że na ogół będzie należało ponieść wyższe nakłady, niż to wynika z krzywej - dla uzyskania ustalonego współczynnika sprawności sieci. Odchylenia od optymalnego planu kierowania wpływają na ponoszenie wyższych kosztów niż  $E_{\min}$ . Praktycznie uzyskiwane wartości  $\varphi$  dla danego  $E_{\min}$  leżą gdzieś w obszarze zakreskowanym na rys. 1. Natomiast jest niewątpliwe, że dane  $\varphi$  nie może być osiągnięte przy mniejszych kosztach niż  $E_{\min}$ , czyli "punkt pracy" nie może leżeć poniżej krzywej AB wyliczonej dla danego przypadku.

Problem projektowania sieci dla zaspokojenia nieokreślonych ściśle potrzeb jest koncepcyjnie o wiele bardziej trudnym problemem niż problem omówiony poprzednio. Trudność polega na tym, że przy zachowaniu warunku minimum kosztów należy przewidywać wiele wersji możliwych przyszłych potrzeb. Opierając się na koncepcjach wskaza-

nych przez George'a Dantziga w końcu jego artykułu [4], problem optymalnego projektowania przy nieokreślonych ściśle potrzebach może być ujęty w sposób niżej podany, który znów prowadzi do metod programowania liniowego; problemy uwzględniające przypadkowość występowania pojemności mogą być ujmowane w sposób analogiczny.

Rozważana jest skończona (równa  $M$ ) ilość sytuacji, z których każda charakteryzuje się innymi przyszłymi potrzebami; macierz potrzeb

$$A^{(m)} = a_{ij}^{(m)}$$

ma prawdopodobieństwo  $p^{(m)}$ , gdzie  $m = 1, 2 \dots M$ . W takich okolicznościach istnieje szereg możliwych sposobów określenia współczynnika sprawności sieci, chociaż jest jasne, że musi być zastosowana jakaś wartość przeciętna. Najpierw zauważmy, że współczynnik sprawności sieci jest równy wartości oczekiwanej (zwanej czasami nadzieją matematyczną - przyp. oprac.) stosunku liczby informacji przekazanych do liczby informacji wytworzonych w okresie czasu  $T$ . Oznaczając tę wartość przez  $\bar{\varphi}$  mamy

$$\bar{\varphi} = \sum_{m=1}^M p^{(m)} \left\{ \frac{\sum_{i,j} x_{ij}^{(m)}}{\sum_{i,j} a_{ij}^{(m)}} \right\}$$

gdzie  $x_{ijk}^{(m)}$  oznacza plan optymalnego kierowania, który byłby zastosowany, gdyby wystąpiły potrzeby określone macierzą  $A^{(m)}$ .

Tego rodzaju ujęcie powoduje niebezpieczeństwo polegające na tym, że nawet przy odpowiednio wysokim przeciętnym współczynniku sprawności w niedopuszczalnie wysokim procencie przypadków mogą wystąpić rzeczywiste wartości współczynnika sprawności niedopuszczalnie małe.

Uwzględnienie tego rodzaju zastrzeżeń prowadzi do nowego ujęcia współczynnika jakości służby. Z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż  $P$  współczynnik sprawności rozbudowanej sieci powinien być nie mniejszy od  $\varrho_0$ , tzn.

$$\text{prob} \left\{ \varrho \geq \varrho_0 \right\} \geq P$$

Na przykład można wymagać z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż 0,95, aby współczynnik sprawności sieci był nie mniejszy niż 0,98. To gwarantuje, z prawdopodobieństwem nie większym niż 0,05, że więcej niż dwie informacje na sto generowanych w okresie czasu  $T$  zostaną nieprzekazane.

W ujęciu matematycznym to kryterium oznacza wymaganie, aby

$$\frac{\sum_{i,j} x_{ij}^{(m)}}{\sum_{i,j} a_{ij}^{(m)}} \geq \varrho_0 \quad (12)$$

dla co najmniej jednego takiego zbioru  $S$  indeksów  $(m)$ , że

$$\sum_m p^{(m)} \geq P \quad (\text{dla } m \text{ ze zbioru } S)$$

Ten warunek można wypełnić w praktyce przez przyjęcie do dalszych badań takiego zbioru macierzy  $A^{(m)}$ , że suma związanych z nimi prawdopodobieństw jest nie mniejsza od  $P$  oraz jednocześnie przez wymaganie spełnienia nierówności (12) dla wszystkich "m" tego zbioru.

W sformułowaniu problemu optymalnego projektowania przy nieokreślonych ściśle potrzebach stosuje się wartość oczekiwaną współczynnika sprawności sieci jako miarę jakości służby. Sformułowanie tego problemu jest następujące:

Zminimalizować

$$E = \sum_{i,j} d_{ij} (c_{ij} - c_{ij}^*) + \sum_i d_i (s_i - s_i^*) \quad (6')$$

przy następujących ograniczeniach:

$$\sum_k x_{ikj}^{(m)} - \sum_k x_{kij}^{(m)} \leq a_{ij}^{(m)} \quad (7')$$

$$\sum_k x_{ijk}^{(m)} \leq c_{ij}; \quad c_{ij} \geq c_{ij}^* \quad (8')$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{j,k} x_{ijk}^{(m)} \leq s_i \\ \sum_{j,k} x_{kij}^{(m)} \leq s_i \end{array} \right\} s_i \geq s_i^* \quad (9')$$

$$\sum_{j,k} x_{kij}^{(m)} \leq s_i \quad (10')$$

$$\sum_m p^{(m)} \left[ \frac{\sum_{i,j} x_{ijj}^{(m)}}{\sum_{i,j} a_{ij}^{(m)}} \right] \geq \varphi \quad (0 < \varphi \leq 1) \quad (11')$$

Wszystkie zmienne są nieujemne i znów problem jest problemem programowania liniowego. Ponieważ ilość warunków ograniczających jest w przybliżeniu proporcjonalna do  $M$ , pożądane więc jest utrzymanie możliwie najmniejszej wartości  $M$ . W tym problemie dane są:  $a_{ij}^{(m)}$ ,  $p^{(m)}$ ,  $c_{ij}^*$ ,  $s_i^*$ ,  $\varphi$ ,  $d_{ij}$  oraz  $d_i$ . Należy znaleźć  $c_{ij}$  oraz  $s_i$ , tzn. pojemność rozbudowanej sieci,  $x_{ijk}^{(m)}$ , tzn. plan kierowania, który byłby zastosowany, gdyby wystąpiły potrzeby według macierzy  $A^{(m)}$ , w końcu należy znaleźć  $E_{\min}$ , tzn. możliwie najmniejsze nakłady dla osiągnięcia pożądanego stopnia jakości służby. I w tym przypadku oczywiście można wyznaczyć krzywe  $E_{\min}$  w funkcji  $\varphi$ . Gdyby zastosowano inne kryterium sprawności, można by uzyskać różne inne krzywe pomocne przy projektowaniu.

W planowaniu perspektywicznego rozwoju sieci telekomunikacyjnej należy wziąć pod uwagę nie tylko przewidywane potrzeby, koszty itp. dla nadchodzącego roku, ale także przewidywania dla dalszych okresów; wówczas chodzi o zapewnienie ustalonych stopni jakości służby w ciągu pewnej ilości okresów czasu przy minimum sumarycznych kosztów. Między innymi umożliwi to zmniejszenie niekorzystnego wpływu różnych przejściowych zjawisk na prawidłowy rozwój sieci.

Dla ilustracji został poniżej sformułowany przykład wieloetapowego projektowania. Wielkości w nim występujące mają to samo znaczenie, co poprzednio z tym, że dodano indeks "r" wskazujący, że dana wielkość odnosi się do okresu czasu "r". Problem polega na określeniu rozbudowy sieci, tzn. wielkości  $c_{ij}^{(r)}$  i  $s_i^{(r)}$  w taki sposób,

aby był zapewniony określony poziom jakości służby dla każdego okresu czasu ze zbioru  $R$  przy minimum sumarycznych kosztów:

Tak więc poszukuje się minimum funkcji:

$$E = \sum_{ijr} d_{ij}^{(r)} (c_{ij}^{(r)} - c_{ij}^{(r-1)}) + \sum_{i,r} d_i^{(r)} (s_i^{(r)} - s_i^{(r-1)}) \quad (6'')$$

przy następujących ograniczeniach:

$$\sum_k x_{ikj}^{(r)} - \sum_k x_{kij}^{(r)} \leq a_{ij}^{(r)} \quad (7'')$$

$$\sum_k x_{ijk}^{(r)} \leq c_{ij}^{(r)}; \quad c_{ij}^{(r)} \geq c_{ij}^{(r-1)} \quad (8'')$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{j,k} x_{ijk}^{(r)} \leq s_i^{(r)} \\ \sum_{j,k} x_{kij}^{(r)} \leq s_i^{(r)} \end{array} \right\} s_i^{(r)} \geq s_i^{(r-1)} \quad (9'')$$

$$\sum_{j,k} x_{kij}^{(r)} \leq s_i^{(r)} \quad (10'')$$

$$\frac{\sum_{i,j} x_{ijj}^{(r)}}{\sum_{i,j} a_{ij}^{(r)}} \geq \varphi \quad (0 < \varphi \leq 1) \quad (11'')$$

Wyżej podane modele dla różnych problemów projektowych są niezmiernie uproszczone. Jednak można łatwo uzyskać ich większą realność, ponieważ modele są bardzo

elastyczne i łatwo wprowadzić dodatkowe wymagania. Ważnym ograniczeniem jest to, aby te dodatkowe wymagania w ujęciu matematycznym prowadziły do liniowych nierówności, albo przynajmniej można je było wyrazić w sposób przybliżony w postaci nierówności liniowej (w przeciwnym razie, problem będzie wykraczał poza sferę programowania liniowego). Jeżeli np. są ograniczone możliwości zaopatrzenia w sprzęt teletransmisyjny, może być wprowadzony dodatkowy warunek, że

$$\sum_{i,j} c_{ij} \leq Q$$

gdzie  $Q$  jest całkowitą dostępną ilością określonego sprzętu.

Niezgodności warunków technicznych wynikających z różnorodności sprzętu mogą być uwzględnione w formie wymagania, aby nie wystąpiły określone zmienne  $x_{ijk}$  i  $c_{ij}$ . W ten sposób wskazano tylko na dwie możliwości wprowadzenia dodatkowych ograniczeń. Możliwości takich istnieje więcej.

## 5. WNIOSKI

Zostało pokazane, że szereg problemów telekomunikacyjnych może być badanych przy użyciu metod programowania liniowego. Uzyskane modele charakteryzują się dużą elastycznością i w łatwy sposób można spowodować, że w wyższym stopniu będą odzwierciedlać rzeczywistość, ale kosztem skomplikowania rozwiązania numerycznego. Podsta-



wową właściwością metody jest to, że poszczególne problemy mogą być rozpatrywane w skali całej sieci. Występuje tu wzajemne uzupełnienie się klasycznych badań probabilistycznych i badań nad zagadnieniami sieciowymi. Np. badania probabilistyczne są pomocne przy szacowaniu pewnych parametrów występujących w badaniach sieci.

Przy problemie optymalnego kierowania była uwzględniona zasada możliwie najwyższej sprawności sieci; przy problemie optymalnego projektowania była uwzględniona zasada minimum kosztów z zachowaniem odpowiedniego stopnia jakości służby. Droga rozszerzania modelu można pokazać, że mogą być również badane różne inne techniczno-ekonomiczne problemy sieci telekomunikacyjnych.

#### WYKAZ LITERATURY

1. Boldyreff A.: Determination of the Maximal Steady State Flow of Traffic Through a Railroad Network. Journal of the Operations Research Society of America. 1955, vol. 3, s. 443-465.
2. Brockmeyer E., Halstrom H., Jensen A.: The Life and Works of A.K. Erlang. Copenhagen 1948.
3. Charnes A., Cooper W., Henderson A.: An Introduction to Linear Programming. New York 1953.
4. Dantzig G.: Linear Programming Under Uncertainty. Management Science. 1955, vol. 1, s. 197-206.

5. Dantzig G., Orden A., Wolfe P.: The Generalized Simplex Method for Minimizing a Linear Form under Linear Inequality Restraints. Pacific Journal of Mathematics. 1955, vol. 5, s. 183-195.
6. Ford L., Fulkerson D.: A Simple Algorithm for Finding Maximal Network Flows and an Application to the Hitchcock Problem. RAND Corporation Paper P-743, 1955.
7. Frost C., Keister W., Ritchie A.: A Throwdown Machine for Telephone Traffic Studies. The Bell System Technical Journal. 1953, vol. 32, s. 292-359.
8. Jensen A.: Moe's Principle. Copenhagen 1950.
9. Jensen A.: A Distribution Model. Copenhagen 1954.
10. Truitt C.: Traffic Engineering Techniques for Determining Trunk Requirements in Alternate Routing Trunk Network. The Bell System Technical Journal. 1954, vol. 33, s. 277-302.
11. Wilkinson R.: Theories for Toll Traffic Engineering in the U.S.A. The Bell System Technical Journal. 1956, vol. 35, s. 421-514.

BADANIE WYDAJNOŚCI RUCHOWEJ  
NIEDOSKONAŁYCH WIĄZEK ŁĄCZY, WYCHODZĄCYCH  
Z JEDNOSTOPNIOWYCH WIELOKROCI, ZA POMOCĄ  
ELEKTRONICZNEJ MASZYNY MATEMATYCZNEJ

Opracował M. Feret<sup>1)</sup>

(Referat zgłoszony na wszechzwiązkową sesję naukową,  
poświęconą Dniu Radia - 20.VI.1961 r.)

1. WSTĘP

W poniższej pracy opisane są rezultaty badania wydajności ruchowej jednostopniowych wielokroci telefonicznych. Badanie przeprowadzono za pomocą elektronicznej maszyny matematycznej typu 59CM - 2 w Ośrodku Matematycznym Państwowego Uniwersytetu Łotewskiego im. P. Stuczki. Przytoczono wyniki obliczeń, wykonanych metodami statystycznymi oraz sposoby matematycznego modelowania ww. wielokroci. Zaproponowano nowe zasady wyboru optymalnego układu wielokrocia.

---

<sup>1)</sup> M.A. Szneps: Izuczenije odnokaskadnych niepołnodostupnych telefonnych sistiem na elektronnoj wyczislitelnoj maszynie. Problemy Pieriedaczi Informaczi 1963, nr 12.

## 2. OPIS POSTAWIONEGO ZADANIA

Przedmiotem badania jest następujący układ telefoniczny:

Dane jest pole styków  $g_{ij}$  z  $nd$  elementami ( $i=1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, d$ ), mające kształt matrycy prostokątnej  $n \times d$ . Parametr  $n$  oznacza liczbę grup styków ("grup składowych wielokrocza"), parametr  $d$  nazywa się "dostępnością". W  $k$ -tą grupę styków wchodzi  $k$  styki  $g_{ij}$ , których indeks  $i$  równa się  $k$ .

Pole styków rozbijane jest na pewną ilość zbiorów  $K_s$ , składających się z połączonych ze sobą (zwielokrotnionych) styków pojedynczych.

$$K_s = \left\{ g_{ij}^{(s)} \right\} \quad (s = 1, \dots, \nu).$$

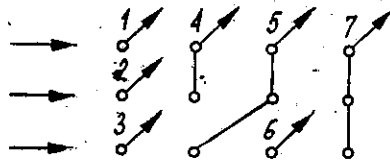
Wśród styków tworzących zbiór  $K_s$  pola nie istnieją dwa styki z jednakowym pierwszym indeksem  $i$ . Każdemu zbiorowi  $K_s$  przyporządkowane jest tylko jedno łącze  $l_s$ . Z rozpatrywanego układu styków wyprowadzonych jest  $l_s$  łączy, a z każdej grupy styków dostępnych jest  $d$  łączy. W badanym układzie spełniana jest następująca nierówność:

$$d < \nu < nd.$$

Na opisany układ podawany jest ruch telefoniczny, składający się z  $n$  jednakowych, niezależnych stałych i wygładzanych strumieni ruchu z ograniczonym działaniem

wtórny [1]. Dowolny oferowany strumień posiada rozkład wywołań według funkcji  $F(x)$ . Dla załatwienia wywołania  $i$ -tego strumienia potrzebne jest wolne łącze, dostępne w  $i$ -tej grupie styków. Szukanie swobodnego łącza odbywa się kolejno. Jeżeli w momencie pojawienia się wywołania w odpowiedniej grupie styków brak jest swobodnego łącza, wywołanie zostaje stracone. Długość zajęcia łącza nie zależy od strumienia wywołań oraz stanu układu i określana jest funkcja, rozkładu  $\phi(x)$ .

Należy znaleźć prawdopodobieństwo strat [3] dla opisanego jednostopniowego układu telefonicznego. Dla ilustracji wprowadzonych oznaczeń rozpatrzony zostanie układ pokazany na rys. 1. Oznaczenia wzięte są z pracy [8] s. 333.



Rys. 1. Przykład wielokrocza niedoskonałego

W podanym przykładzie pole styków charakteryzowane jest następującymi wielkościami:  $n = 3$ ,  $d = 4$ ,  $v = 7$ .

Wielokrocze zbudowane jest z następujących zbiorów styków:

$$K_1 = \{\varepsilon_{11}\}; \quad K_2 = \{\varepsilon_{21}\}; \quad K_3 = \{\varepsilon_{31}\};$$

$$K_4 = \{\varepsilon_{12}, \varepsilon_{22}\}; \quad K_5 = \{\varepsilon_{13}, \varepsilon_{23}, \varepsilon_{32}\};$$

$$K_6 = \{\varepsilon_{33}\}; \quad K_7 = \{\varepsilon_{14}, \varepsilon_{24}, \varepsilon_{34}\}.$$

W dalszej części pracy omawiany układ telefoniczny nazywany będzie "wielokrociem złożonym" lub krótko wielokrociem.

### 3. METODA BADANIA

W pracy [1] opisana została analityczna metoda badania układu organów całkowicie dostępnych, w przypadku gdy oferowany strumień wywołań ma charakter wygładzony, a długotrwałość załatwienia wywołań następuje według rozkładu wykładniczego prawdopodobieństwa. Podobne podejście zastosowane zostanie do rozwiązania zadania wymienionego w punkcie 2 niniejszej pracy. Jednakże znalezienie prostych wzorów na obliczanie prawdopodobieństwa strat typu (wzoru) Erlanga nie jest możliwe i dla każdego wielokrocza złożonego należy zadanie rozwiązywać oddzielnie.

Poniżej wyjaśniona zostanie pokrótce metoda rozwiązania postawionego zadania, opracowana przez Baszarina [2]. Zakłada się, że natężenie wygładzonego strumienia wywołań wynosi  $\Lambda$ , przy czym  $\Lambda = n\lambda$ , gdzie  $\lambda$  - natężenie niezależnego wygładzonego strumienia, podawanego na każdą z  $n$  grup styków. Dalej zakłada się, że wartość przeciętna rozkładu prawdopodobieństwa długotrwałości połączeń równa jest jedności.

Wprowadzony zostaje do obliczeń proces Markowa  $\xi\{\Omega_{\alpha\beta}, t\}$ , określony ponad minimalnym rozkładem Markowa  $\{\Omega_{\alpha\beta}\}$  ( $\alpha = 1, \dots, \nu$ ;  $\beta = 1, \dots, N_\alpha$ ;  $N_\alpha$  - ilość różnych stanów z  $\alpha$  zajętymi wyjściami) zbioru stanów  $\Omega$ , opisanego układu telefonicznego. Całkowite prawdo-

podobieństwa  $P_{\alpha\beta}$  otrzymuje się w wyniku rozwiązania układu równań stanów  $\Omega_{\alpha\beta}$ :

$$\begin{cases} PA = 0; \\ \sum_{\alpha\beta} P_{\alpha\beta} = 1, \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

$P$  - wektor wierszowy wielkości  $P_0, P_{11}, \dots, P_{1N_1}, \dots, P_{v1}, \dots, P_{vN_v}$ ;

$A$  - macierz gęstości przejścia w procesie Markowa.

W pracy [2] udowodniono, że

$$\begin{cases} P_{\alpha}(\Lambda) = \frac{\Lambda^{\alpha}}{\alpha!} P_0(\Lambda) \prod_{\beta=0}^{\alpha-1} [1 - \gamma_{\beta}(\Lambda)]; \quad \alpha = 1, \dots, v; \\ \frac{1}{P_0(\Lambda)} = 1 + \sum_{\alpha=1}^v \frac{\Lambda^{\alpha}}{\alpha!} \prod_{\beta=0}^{\alpha-1} [1 - \gamma_{\beta}(\Lambda)], \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$P_{\alpha}(\Lambda)$  - prawdopodobieństwo stanu układu z  $\alpha$  zajęтыми wyjściami (oczywiście  $P_{\alpha}(\Lambda) = \sum_{\beta=1}^{N_{\alpha}} P_{\alpha\beta}$ )

$\gamma_{\beta}(\Lambda)$  - warunkowe prawdopodobieństwo strat przy  $\beta$  zajętych wyjściach.

W pracach [2,4] przytoczone są rezultaty badania całkowicie dostępnych wyjść z dwustopniowych układów wybierczych, które wskazują na możliwość wykorzystania malej zależności  $\gamma_{\beta}(\Lambda)$  od  $\Lambda$  w tym celu, aby znaleźć przybliżoną wartość prawdopodobieństwa stanu układu przy

jakiejs wartości  $\Lambda_1$  natężenia oferowanego ruchu, wykorzystując znane umowne prawdopodobieństwa strat  $\delta_\beta(\Lambda_2)$  przy jakiejś innej wartości  $\Lambda_2$  natężenia oferowanego ruchu i przyrównania.

$$\delta_\beta(\Lambda_2) = \delta_\beta(\Lambda_1).$$

Prawdopodobieństwo strat wyraża się za pomocą następującego wzoru:

$$\pi(\Lambda) = \sum_{\alpha=d}^v \delta_\alpha(\Lambda) P_\alpha(\Lambda)$$

lub w przypadku rachunku przybliżonego

$$\pi^*(\Lambda/\Lambda_1) = \sum_{\alpha=d}^v \delta_\alpha(\Lambda_1) P_\alpha(\Lambda/\Lambda_1), \quad (3)$$

gdzie:

$P_\alpha(\Lambda/\Lambda_1)$  - oznacza prawdopodobieństwo stanu  $P_\alpha(\Lambda)$ , obliczone wg wzoru (2), przy uwzględnieniu, że

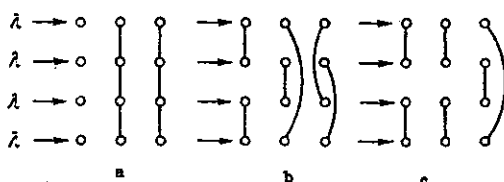
$$\delta_\alpha(\Lambda) = \delta_\alpha(\Lambda_1).$$

#### 4. PRZYKŁADY OBLICZEŃ

Na maszynie 53CM - 2 rozwiązano układy równań (1) i znaleziono prawdopodobieństwa strat dla wielokroci złożonych, pokazanych na rys. 2.



Pracę każdego z wielokroci złożonych, pokazanych na rys. 2. można wyrazić procesem Markowa, mającym 64 stany. Niektóre stany nie są charakterystyczne ze względu na symetrię wielokrocia i obciążenia. Uwzględniając tę



Rys. 2. Wielokrocia, dla których obliczono prawdopodobieństwo strat

symetrię, udało się zmniejszyć ilość elementów układu równań. Minimalny rozkład Markowa dla wielokrocia "a" wynosi 15 stanów, dla wielokrocia "b" - 28 stanów, dla wielokrocia "c" - 18 stanów.

W tabelicy 1 podane są wartości prawdopodobieństwa strat wielokroci pokazanych na rys. 2. Prawdopodobieństwo strat obliczono według wzoru:

$$\pi(\Lambda) = \sum_{\alpha=d}^v \sum_{\beta=1}^{N\alpha} \gamma_{\alpha\beta} P_{\alpha\beta}(\Lambda)$$

przy obciążeniu  $\Lambda = 4\lambda$ , gdzie  $\gamma_{\alpha\beta}$  oznacza warunkowe prawdopodobieństwo strat wielokrocia w stanie  $\Omega_{\alpha\beta}(\Lambda)$ .

Tablicą 2 (dotycząca rys. 2c) wykazuje, że wielkości  $\gamma_{\alpha}(\Lambda)$  są prawie że niezależne od  $\Lambda$ . W obszarze obciążień, dla których prawdopodobieństwo strat zawiera się w przedziale od 0,001 do kilku procent (takimi stratami interesują się specjaliści łączności), wielkości  $\gamma_{\alpha}(\Lambda)$  można uważać za niezależne od obciążenia.

T a b l i c a 1

A	$\pi(A)$		
	a	b	c
28	0,81833	0,80139	0,80148
24	0,79386	0,77142	0,77153
20	0,76157	0,73096	0,73111
16	0,71667	0,67359	0,67379
12	0,64888	0,58664	0,58687
10	0,59940	0,52457	0,52480
8	0,53128	0,44309	0,44328
6	0,43141	0,33443	0,33464
4	0,27714	0,19307	0,19402
2	$0,7255 \cdot 10^{-1}$	$0,4553 \cdot 10^{-1}$	$0,48889 \cdot 10^{-1}$
1	$0,94984 \cdot 10^{-2}$	$0,58292 \cdot 10^{-2}$	$0,80696 \cdot 10^{-2}$
0,5	$0,8961 \cdot 10^{-3}$	$0,50534 \cdot 10^{-3}$	$0,11250 \cdot 10^{-2}$
0,25	$0,80134 \cdot 10^{-4}$	$0,36355 \cdot 10^{-4}$	$0,14952 \cdot 10^{-3}$
0,125	$0,76437 \cdot 10^{-5}$	$0,24146 \cdot 10^{-5}$	$0,19416 \cdot 10^{-4}$
0,0625	$0,7979 \cdot 10^{-6}$	$0,15508 \cdot 10^{-6}$	—

T a b l i c a 2

A	$\gamma_1(A)$	$\gamma_2(A)$	$\gamma_3(A)$	$\gamma_4(A)$
20	0,074887	0,23555	0,5	1
10	0,075134	0,23278	0,5	1
4	0,072722	0,22232	0,5	1
1	0,064418	0,19174	0,5	1
0,25	0,062278	0,17372	0,5	1

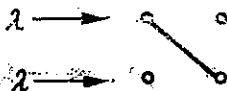
Powyższa zależność zostaje wykorzystana dla przybliżonego rachunku prawdopodobieństwa strat  $\pi^*(\Lambda/\Lambda_1)$  (dot. rys. 2c). Rezultaty tych obliczeń podane są w tabl. 3.

W każdej kolumnie tej tablicy znajduje się pozycja oznaczona gwiazdką, która zawiera tę samą wartość prawdopodobieństwa strat, jaka podana jest w tabl. 1, ponieważ dla tej pozycji  $\Lambda \approx \Lambda_1$ . Prawdopodobieństwo strat dla  $\Lambda \neq \Lambda_1$  wyliczono sposobem przybliżonym według wzoru (3).

T a b l i c a 3

A	$\Delta_1$				
	20	10	4	1	0,25
28	0,8015	0,8015	0,8014	0,8012	0,8011
24	0,7715	0,7715	0,7714	0,7711	0,7710
20	0,7311*	0,7311	0,7309	0,7305	0,7303
16	0,6738	0,6737	0,6735	0,6728	0,6724
12	0,5869	0,5868	0,5864	0,5850	0,5843
10	0,5250	0,5248*	0,5241	0,5222	0,5211
8	0,4436	0,4434	0,4424	0,4396	0,4381
6	0,3355	0,3352	0,3338	0,3297	0,3276
4	0,1961	0,1957	0,1940*	0,1888	0,1862
2	0,5172·10 <sup>-1</sup>	0,5158·10 <sup>-1</sup>	0,5053·10 <sup>-1</sup>	0,4726·10 <sup>-1</sup>	0,4575·10 <sup>-1</sup>
1	0,9219·10 <sup>-2</sup>	0,9198·10 <sup>-2</sup>	0,8930·10 <sup>-2</sup>	0,8070·10 <sup>-2*</sup>	0,7717·10 <sup>-2</sup>
0,5	0,1351·10 <sup>-2</sup>	0,1350·10 <sup>-2</sup>	0,1306·10 <sup>-2</sup>	0,1162·10 <sup>-2</sup>	0,1111·10 <sup>-2</sup>
0,25	0,1818·10 <sup>-2</sup>	0,1820·10 <sup>-2</sup>	0,1760·10 <sup>-2</sup>	0,1560·10 <sup>-2</sup>	0,1495·10 <sup>-2*</sup>
0,125	0,2355·10 <sup>-4</sup>	0,2360·10 <sup>-4</sup>	0,2282·10 <sup>-4</sup>	0,2020·10 <sup>-4</sup>	0,1944·10 <sup>-4</sup>
0,0625	0,2995·10 <sup>-2</sup>	0,3003·10 <sup>-2</sup>	0,2906·10 <sup>-2</sup>	0,2572·10 <sup>-2</sup>	0,2481·10 <sup>-2</sup>

Wyniki obliczeń, przytoczone w tabl. 2 mogą dać do myślenia, że dla wiązki łączy nie całkowicie dostępnych, wychodzącej z jednostopniowego wielokrocia złożonego,



Rys. 3. Wielokrotnie z malejącym warunkowym prawdopodobieństwem strat przy dwóch łączach zajętych wielkość  $\gamma_\alpha(\lambda)$  wzrasta wraz ze zwiększaniem  $\lambda$ . Tak jednak zawsze nie jest. Dla układu pokazanego na rys.3:

$$\gamma_2(\lambda) = \frac{1}{4} \frac{32\lambda^4 + 108\lambda^3 + 150\lambda^2 + 97\lambda + 24}{20\lambda^4 + 66\lambda^3 + 87\lambda^2 + 52\lambda + 12}$$

$$\frac{d\gamma_2}{d\lambda} < 0$$

## 5. NIKTÓRE WŁAŚCIWOŚCI KODOWANIA I PROGRAMOWANIA OBLICZEŃ

### 5.1. Zakodowanie strumienia wywołań

W celu zbudowania matematycznego modelu procesów wg teorii prawdopodobieństwa, zachodzących w rozpatrywanych układach telefonicznych, wykorzystane zostały liczby pseudolosowe. Sposób równomiernego rozdziału tych pseudolosowych liczb w przedziale  $[0,1]$  został podany w pracy [5]. Liczby o rozkładzie wg funkcji  $F(x)$  uzyskuje się z równomiernie rozłożonych liczb pseudolosowych  $\eta$ , dzięki zastosowaniu funkcji odwrotnej  $F^{-1}(\eta)$ , a mianowicie:

$$\xi = F^{-1}(\eta) \quad [6]$$

W przypadku strumienia wygładzonego

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x},$$

a odstęp między wywołaniami określony jest liczbą losową  $\xi$ , związaną zależnością

$$\xi = -\frac{1}{\lambda} \ln \eta,$$

gdzie  $\eta$  - równomiernie rozłożone liczby z przedziału  $[0, 1]$ .

## 5.2. Sposoby kodowania wielokroci

### 5.2.1. Sposób pierwszy

Do maszyny wprowadza się  $nd$  liczb, ugrupowanych w formę prostokątnej macierzy  $n \times d$ . Elementom  $g_{ij}$  ( $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, d$ ) macierzy przyporządkowany jest numer łącza  $l_s$ , które związane jest z tym zbiorem styków, do którego należy  $g_{ij}$ . Stan układu charakteryzowany jest tabelą wielkości  $T_s$  ( $s = 1, \dots, \nu$ ). Wielkościom  $T_s$  odpowiadają momenty czasu ukończenia ostatniej rozmowy, prowadzonej po łączu  $l_s$ . Dla momentu obserwacji  $T$ , wolne są te łącza  $l_k$ , dla których  $T_k < T$ , a zajęte te, dla których  $T_k \geq T$ .

### 5.2.2. Sposób drugi

Dla uchwycenia łącza, dostępnych przez  $i$ -tą grupę styków, wyznacza się wiersz  $R_i$  z  $\nu$  elementami. Jeżeli  $j$ -te łącze ( $j = 1, \dots, \nu$ ) dostępne jest w  $i$ -tej gru-

pie styków ( $i = 1, \dots, n$ ), to wartość  $j$ -tego na prawo elementu w wierszu  $R_i$  wynosi 1, a w przypadku przeciwnym wynosi 0. Dla uchwycenia stanu łączy całego układu potrzeba  $n \cdot \nu$  elementów. Stan układu określany jest wierszem  $R$  z  $\nu$  elementami. Jeżeli  $j$ -te łącze jest wolne, to cecha  $j$ -tego elementu wiersza  $R$  wynosi 1, w przeciwnym przypadku wynosi 0. Dla uchwycenia wolnych łączy, dostępnych w  $i$ -tej grupie, wiersz  $R_i$  mnoży się logicznie przez wiersz  $R$ . Umożliwia to uzyskanie informacji jednocześnie o wielu łączach.

Drugi sposób modelowania wielokrocza nie pozwala na wykonanie obliczeń w warunkach kolejnego zajmowania wolnych łączy oraz gdy pole styków podzielone jest na zbiory, z których chociażby dwa  $K_r$  i  $K_t$  miały elementy  $\varepsilon_{ij} \in K_r$ ,  $\varepsilon_{ks} \in K_r$ ,  $\varepsilon_{ir} \in K_t$ ,  $\varepsilon_{kl} \in K_t$  i jednocześnie spełniony był związek  $j < r$  i  $l < s$ . Przykładem takiego układu jest wielokrocze nr 2 pokazane na rys. 4.

## 6. OPIS PROGRAMU OBLICZEŃ

### 6.1. Program $\Pi 1$

Zakłada się, że funkcja rozkładu stanów między wywołaniami  $F(x)$  ma wartość przeciętną równą jedności. W tym przypadku natężenie strumienia wywołań równe jest przeciętnej wartości funkcji rozkładu  $\phi(x)$ .

W programie znalazły zastosowanie trzy następujące własności liczb pseudolosowych:

- pierwsza - dla uchwycenia oferowanego strumienia wywołań,
- druga - dla podzielenia całkowitego strumienia na  $n$  strumieni ruchu, podawanych na poszczególne grupy styków,
- trzecia - dla wyboru długości rozmowy dla nadchodzącego wywołania.

Program umożliwia ocenę prawdopodobieństwa strat dla strumienia wywołań  $\hat{\Pi}(\Lambda) = N^0/N$ , gdzie  $N$  - całkowita ilość wywołań,  $N^0$  - liczba wywołań straconych oraz ocenę natężenia strumieni ruchu, podawanych na poszczególne styki.

Poniżej przytoczony zostanie algorytm programu. Jego poszczególne operatory są określone numerem w postaci  $a-(b,c)$ , gdzie:

- $a$  - numer porządkowy operatora,
- $b$  - numer operatora, do którego skierowuje się rozkaz, po wypełnieniu logicznego warunku zawartego w operatorze  $a$ ,
- $c$  - numer operatora, do którego skierowuje się rozkaz przy niewypełnieniu warunku logicznego. W przypadku operatorów arytmetycznych  $b = c$ .

- 1 (2,2). Wprowadzenie do maszyny modelu matematycznego wielokrocza i przygotowanie programu.
- 2 (3,3). Losowy wybór odstępu czasu  $t$  od momentu  $T$  jednego wywołania do momentu następnego wywołania, odbywający się wg funkcji rozkładu  $F(x)$ .

- 3 (4,4). Losowy wybór czasu rozmowy  $\Delta t$  wg funkcji rozkładu  $\Phi(x)$ .
- 4 (5,5). Losowy jednakowo - prawdopodobny wybór jednej z  $n$  grup styków, na które kierowany jest oferowany strumień wywołań.
- 5 (6,7). Stwierdzenie istnienia wolnego łącza w wybranej grupie styków.
- 6 (8,8). Zajęcie kolejnego wolnego łącza 1, to jest przesłanie wielkości  $T + t + \Delta t$  w  $s$ -ty wiersz tablicy momentów zakończenia rozmów.
- 7 (8,8). Sumowanie strat.
- 8 (9,9). Sumowanie strat zaoferowanych wywołań.
- 9 (10,2). Stwierdzenie, czy ilość zaoferowanych wywołań jest już dostateczna.
- 10 (1,1). Wyprowadzenie wyników.

Program  $\Pi 1$  może być wykorzystywany w celu analizowania wielkości, których parametry spełniają następującą zależność.

$$v + 4nd + (d + 1) \left( \left[ \frac{n}{3} \right] + 1 \right) < 1600$$

(nawiasy kwadratowe symbolizują tu i w następnych wzorach ilość całkowitą jednostek).

Program  $\Pi 1$  wymaga około 400 komórek pamięciowych. Główną część tych komórek zajmuje przygotowanie programu obliczeń. Dla każdego analizowanego wielokrocia scho-



mat blokowy programu obliczeń stanowi część schematu ogólnego, z uwzględnieniem numerów łączy dostępnych z poszczególnych styków wielokrocia. Takie podejście do zagadnienia wyraźnie zmniejsza czasy matematycznego modelowania wielokroci. Program П1 pozwala na matematyczne modelowanie wielokroci przy dowolnych funkcjach rozkładu prawdopodobieństwa  $F(x)$  i  $\phi(x)$ .

## 6.2. Program П 2

Badane wielokrocie analizowane jest w maszynie w inny sposób. W procesie modelowania wykorzystane są własności równomiernego rozkładu pseudolosowych liczb dla zarejestrowania trzech rodzajów zdarzeń:

- 1) nastąpiło wywołanie,
- 2) jedno z zajętych łączy zostaje zwolnione,
- 3) stan układu nie ulega zmianie.

Jeżeli wybrana pseudolosowa liczba  $x$  spełnia zależność

$$\frac{v}{v + \Lambda} < x, \quad (4)$$

to następuje wywołanie. W przypadku gdy:

$$\frac{v}{v + \Lambda} \geq x$$

to następuje zdarzenie 2 lub 3.

W przypadku zdarzenia 1, przy pomocy nowej liczby losowej  $y$  dokonuje się wyboru jednej z grup styków. W przy-

padku zdarzenia 2 lub 3, przy pomocy innej liczby losowej, wybierane zostaje jedno z  $U$  łączy. Jeżeli łącze to jest zajęte, to następuje jego zwolnienie (zdarzenie 2), w przeciwnym przypadku następuje zdarzenie 3.

Poniżej przedstawiony zostaje schemat blokowy programu:

- 1 (2,9). Wybór pseudolosowej liczby  $x$  i próba zależności (4).
- 2 (3,3). Wybór przy pomocy liczby losowej  $y$  grupy styków o numerze  $i = [y n] + 1$ .
- 3 (4,5). Stwierdzenie istnienia wolnego łącza w  $i$ -tej grupie styków, to jest ustalenie, czy różny jest od zera logiczny iloczyn wiersza  $R$  wykazu łączy wielokrotka przez wiersz  $R_i$  wykazu łączy, dostępnych z  $i$ -tej grupy styków.
- 4 (6,6). Zajęcie kolejnego swobodnego łącza, to znaczy znalezienie numeru  $j$  pierwszego z prawej strony elementu, równego jedności w rezultacie mnożenia i zamiana  $j$ -tego elementu wiersza  $R$  wykazu wolnych łączy na 0.
- 5 (6,6). Sumowanie strat.
- 6 (7,7). Sumowanie zaoferowanych wywołań.
- 7 (8,1). Stwierdzenie, czy ilość zaoferowanych wywołań jest już dostateczna.
- 8 (8,8). Wyprowadzenie wyników i zatrzymanie maszyny.

- 9 (10,10). Wybór przy pomocy liczby losowej z łączy z numerem  $j = [z \nu] + 1$ .
- 10 (11,1). Stwierdzenie stanu zajętości  $j$ -tego łącza, to znaczy ustalenie, czy element położony na prawo od elementu  $j$ -tego ma cechę równą 0.
- 11 (1,1). Zamiana zera  $j$ -tego elementu wiersza R na jedność.

Program zajmuje około 150 komórek pamięciowych maszyny. Istnieje drugi wariant tego programu ( $\pi 2A$ ), różniący się tym, że w modelowaniu matematycznym wielokrotnie uczestniczą tylko dwa rodzaje zdarzeń:

- 1) zaoferowanie wywołania;
- 2) zwolnienie zajętego łącza.

Jest to możliwe do osiągnięcia dlatego, że zajęte łącza (ich ilość wynosi  $a$ ) stanowią wykaz o długości  $a$ . Zależność (4) zamienia się na nierówność

$$\frac{a}{a + \Lambda} < x$$

W przypadku gdy

$$\frac{a}{a + \Lambda} \geq x$$

następuje swobodny wybór jednego łącza z wykazu łączy  $a$  i zwolnienie tego łącza. Zamiast zarejestrowania zwolnionego łącza z wykazu łączy, dokonuje się rejestracji ilości łączy w wykazie. Długość wykazu wynosi  $a - 1$  po-

zycji. Takie podejście do zagadnienia znacznie zmniejsza czas obliczeń. Im mniejszy oferowany ruch, tym większa oszczędność czasu.

Program П2А pozwala na obliczenie prawdopodobieństwa strat wywołań  $\hat{\pi}(\lambda)$  i względnego prawdopodobieństwa strat przy  $\alpha$  zajętych łączach

$$\hat{\gamma}_{\alpha}(\lambda) = \frac{N_{\alpha}^0}{N_{\alpha}}$$

gdzie:

$N_{\alpha}$  - ilość wywołań, które zostały zaoferowane przy  $\alpha$  zajętych łączach

$N_{\alpha}^0$  - ilość wywołań, straconych z ilości  $N_{\alpha}$ .

U w a g a .

Idea modelowania matematycznego, ucieleśniona w programie П2, zapożyczona została z pracy [10].

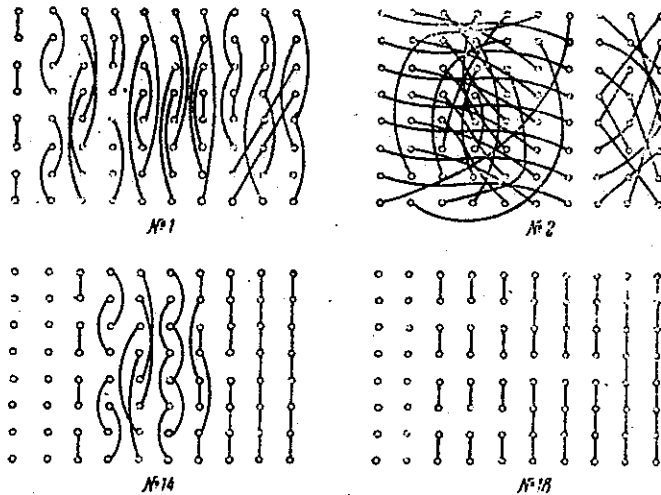
Program П1 jest odpowiedni dla zastosowania procesu Markowa, opisującego układ telefoniczny wg punktu 1, przy dowolnych funkcjach rozkładu prawdopodobieństwa  $F(x)$  i  $\phi(x)$ . Programy П2 i П2А znajdują zastosowanie tylko przy założeniu, że strumień wywołań ma charakter wygładzony, a czasy trwania połączeń przebiegają wg funkcji wykładniczej.

## 7. REZULTATY PRZEPROWADZONYCH OBLICZEŃ

Programy П1, П2 i П2А znalazły zastosowanie przy matematycznym modelowaniu różnych jednostopniowych wielokroci z wiązkami łączы wychodzących niecałkowicie do-

stępnych. Poniżej przedstawione zostaną przykładowe wyniki analizy pewnej grupy wielokroci.

Według programu П1 przeliczono 20 wielokroci o parametrach  $n = 8$ ,  $d = 10$ ,  $\nu = 36$ , różniących się rozbięciem pola styków na zbiory styków. Część modelowanych wielokroci przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przykłady modelowanych wielokroci

**Uwaga opracowującego:**

Wielokrocie złożone nr 18 odpowiada wielokrociu stopniowanemu, wykonanemu zgodnie z instrukcją Nr TS 105 MP i T z 1951 r. (str. 4), która stosowana jest w centralach telefonicznych syst. Strowgera i w jego polskiej odmianie, tj. w systemie 32 AB.

Zakłada się, że szukanie wolnego łącza wychodzącego z grupy składowej wielokrocia odbywa się kolejno od strony lewej ku prawej.

Wielokrocia pokazane na rys. 4 zbudowane zostały w sposób następujący:

1) znalezione w liczbach całkowitych rozwiązania układu równań

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \alpha_i = d \\ \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i n}{i} = v \end{cases} \quad (\alpha_i \geq 0) \quad (5)$$

2)  $\alpha_i$  słupków styków (zaczynając od lewej strony) zebrano w zbiory styków, po  $i$  styków w każdym słupku ( $i = 1, \dots, n$ ).

Część rozwiązań układu równań (5), dla  $n = 8$ ,  $d=10$ ,  $v = 36$  podano w tabl. 4.

T a b l i c a 4

Nr wielokrocia	1	2	3	4	5	6	7	8
1	—	7	3	—	—	—	—	—
2	—	7	3	—	—	—	—	—
3	1	3	6	—	—	—	—	—
4	1	5	—	4	—	—	—	—
5	1	4	3	2	—	—	—	—
6	1	6	—	1	—	—	—	2
7	2	—	6	2	—	—	—	—
8	1	6	—	—	—	3	—	—
9	2	2	—	6	—	—	—	—
10	2	3	—	2	—	3	—	—
11	2	3	—	5	—	—	—	—
12	2	2	3	—	—	3	—	—
13	2	2	3	1	—	—	—	1
14	2	3	—	3	—	—	—	2
15	3	—	—	4	—	3	—	—
16	3	—	—	5	—	—	—	2
17	3	—	—	2	5	—	—	—
18	2	3	—	3	—	—	—	2
19	3	—	3	—	—	—	—	4
20	3	1	—	—	—	6	—	—

Wychodząc z tych samych liczb  $\alpha_i$  ( $i = 1, \dots, 8$ ) można zbudować różne układy wielokrocza. Za przykład mogą służyć wielokrocza nr 1 i nr 2, a także nr 14 i nr 18 (rys. 4), z których każdą parę cechują jednakowe wielkości  $a$ , a pole styków rozbite jest na istotnie różniące się między sobą zbiory styków. Dla scharakteryzowania wielokroci typu wg rys. 14 i 18 można wykorzystać pojęcie "tablicy korelacji", które omówione jest w następnym rozdziale niniejszej pracy. Ostatnie układy wielokroci wg tabl. 4, nie pokazane na rys. 4, posiadają najbardziej wyrównaną tablicę korelacji, a ugrupowanie wielokrotnień ma wygląd analogiczny do wielokrocza, pokazanego na rys. 1.

Rezultaty analizy wielokroci wg tabl. 4 i rys. 4 zamieszczone są w tabl. 5. Modelowanie matematyczne przeprowadzono przy założeniu rozkładu czasu trwania połączeń wg funkcji stałej i wygładzonym strumieniu oferowanych wywołań.

Siewastianow [7] wykazał, że dla wielokroci z łączami całkowicie dostępnymi prawdopodobieństwo strat w przypadku ruchu wygładzonego zależy tylko od wartości przeciętnej czasu trwania połączenia. Analogiczne twierdzenie dla jednostopniowych wielokroci z łączami niecałkowicie dostępnymi udowodnił w swej pracy Kowalenko [14].

Za kontrolę rezultatów obliczeń, przedstawionych w tabl. 5, mogą służyć obliczenia prawdopodobieństwa strat, które wykonane zostały dla wielokrocza o dostępności  $d = 10$  z łączami wychodzącymi całkowicie dostępnymi. Wy-

niki obliczeń, wykonanych wg programu  $\Pi 1$ , przedstawione są w tabl. 6.

T a b l i c a 5

Nr wie- lokrocia	$\hat{\Lambda}$			
	32,29	24,22	20,18	17,15
1	0,13325	0,03344	0,00863	0,00163
2	0,13550	0,03456	0,00888	0,00219
3	0,13744	0,03313	0,00925	0,00226
4	0,13925	0,03569	0,00775	0,00156
5	0,13956	0,03619	0,00811	0,00219
6	0,14369	0,02744	0,00906	0,00200
7	0,14400	0,03675	0,00969	0,00213
8	0,14588	0,04088	0,00981	0,00188
9	0,14706	0,04109	0,01006	0,00250
10	0,14869	0,04163	0,01131	0,00263
11	0,14981	0,04406	0,01200	0,00250
12	0,15006	0,04131	0,01069	0,00194
13	0,15081	0,04356	0,01050	0,00263
14	0,15506	0,04506	0,01181	0,00263
15	0,16112	—	0,01487	—
16	0,16306	0,05369	0,01519	0,00396
17	0,16225	0,05300	0,01588	0,00381
18	0,16219	0,05581	0,01860	0,00568
19	0,16863	—	—	—
20	0,16887	—	0,01844	—

T a b l i c a 6

$\hat{\Lambda}$	$\hat{\pi}(\Lambda)$	$\pi(\Lambda) \pm \sigma(\Lambda)$
10,0923	0,2224	0,21885 $\pm$ 0,00586
9,0823	0,174	0,17182 $\pm$ 0,00623



W pierwszej kolumnie tablicy podano wartości obciążeń  $\hat{\Lambda}$ , w drugiej kolumnie podano prawdopodobieństwo strat, uzyskane na drodze eksperymentalnej, a w trzeciej sumę teoretycznych wartości prawdopodobieństwa strat  $\pi(\Lambda)$  i średnich wartości odchyłeń w drugiej potęgze  $\sigma(\Lambda)$ , obliczonych dla obciążenia  $\hat{\Lambda}$  przez liniową interpolację wielkości, podanych przez Baszarina [9].

Dla uzyskania każdego z rezultatów obliczeń, zamieszczonych w tabl. 5 i 6 wykonano 16.000 wywołań. Ponieważ liczba przeprowadzonych eksperymentów była stałą przy różnych obciążeniach, a prawdopodobieństwo strat jest funkcją rosnącą obciążenia, to otrzymane wyniki mają różną dokładność. Odnośnie danych z tabl. 5 bezpośredniej oceny dokładności wyników nie przeprowadzono. Właściwości metody programowania  $\Pi 2$  i  $\Pi 2A$  charakteryzują rezultaty matematyczne modelowania wielokroci b i c z rys. 2, przedstawione w tabl. 7. W tablicy tej po-

T a b l i c a 7

A	b			c		
	$\pi(\Lambda)$	$\hat{\pi}(\Lambda)$	N	$\pi(\Lambda)$	$\hat{\pi}(\Lambda)$	N
12	0,5866	0,5873	16384	0,5869	0,5882	16384
8	0,4431	0,4457	16384	0,4433	0,4473	16384
4	0,1931	0,2102	32768	0,1940	0,2071	16384
2	0,0455	0,0565	32768	0,0489	0,0588	16384
1	0,00583	0,0088	32768	0,00807	0,0135	16384
0,5	0,00051	0,00101	32768	0,00113	0,0011	16384

dane są dokładne liczby prawdopodobieństwa strat z tabl. 1, wyniki modelowania matematycznego  $\hat{\Pi}(\lambda)$  i ilość wykonanych eksperymentów  $N$ . Jak widać z tej tablicy, dla większych obciążeń, wielkości eksperymentalne odpowiadają dosyć dokładnie wielkościom otrzymanym na drodze obliczeniowej. Ze zmniejszeniem obciążenia rozrzut odchyleń zwiększa się. Można tego uniknąć przez ekstrapolację z obszaru dużych strat w obszar małych strat wg metody opisanej w rozdz. 3 i 4. Pewne zawyżenie rezultatów modelowania związane jest prawdopodobnie z właściwością przyjętej serii liczb pseudolosowych.

### 8. WYBÓR OPTYMALNEGO UKŁADU WIELOKROCIA

Jak wiadomo [8], nie istnieje metoda inżynierska obliczania strat ruchu w wiązkach niedoskonałych, wychodzących z wielokroci złożonych jak i nie została opracowana metoda wyboru optymalnego układu wielokroci. Wydaje się, że tylko zastosowanie elektronowych maszyn liczących może zapewnić uzyskanie zadowalających charakterystyk liczbowych wielokroci za pomocą modelowania lub przybliżonych, dostatecznie dokładnych rachunków.

Jednakże pewne intuicyjne rozważania, porównujące różne układy wielokroci, można przeprowadzić i bez tego. Rezultaty obliczeń i modelowania potwierdzają słuszność przyjętej następującej metody wyboru optymalnego układu wielokroci:

1) dane pole styków o parametrach  $a$ ,  $d$ ,  $v$  rozбивa się na zbiory styków, tylko z dwoma różnymi ilorazami wielokrocia  $r$  i  $r + 1$ , gdzie:

$$r = \left[ \frac{nd}{v} \right]$$

i liczba zbiorów z  $r$  stykami w zbiorze wynosi:

$$\frac{nd - (r + 1)(nd - vr)}{r},$$

a liczba zbiorów z  $r + 1$  stykami

$$nd - vr;$$

2) zbiory styków tworzone są z uwzględnieniem następujących warunków:

a) wszystkie styki, wchodzące w skład zbiorów przy ilorazie wielokrocią  $r + 1$  znajdują się na prawo od zbiorów styków przy ilorazie  $r$  (kierunek wybierania styków, w wielokrociu  $\rightarrow$  od strony lewej ku prawej);

b) tablica korelacji poszczególnych części pola styków, ukształtowanego wszystkimi zbiorami styków przy jednakowym ilorazie wielokrocia oraz całego pola styków jako całości jest najbardziej wyrównana.

Tablicę korelacji danego wielokrocia jednostopniowego przedstawia się jako symetryczną macierz kwadratową  $\{b_{lm}\}$  o kolejności  $n$ , zawierającą elementy:

$$b_{lm} = b_{ml} = \sum_s^* \frac{1}{\bar{K}_s},$$

gdzie  $\bar{K}_s$  oznacza wydajność zbioru styków  $\bar{K}_s = \{ \varepsilon_{ij}^s \}$ , a

gwiazdka przy symbolu  $\sum$  oznacza, że sumowanie wykonuje się po tych zbiorach  $K_s$ , które zawierają jednocześnie elementy typu  $g_{1t}$  i  $g_{mr}$  ( $1 \leq t \leq d$ ;  $1 \leq r \leq d$ ).

Wyrównanie tablicy korelacji charakteryzuje dyspersja tablicy korelacji  $D$ , określona następującym wzorem:

$$D = \sum_{l=1}^n \left\{ \sum_{m=1}^{l-1} \left| \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} - \sum_{i=1}^n b_{ii} - b_{lm}}{n(n-1)} - b_{lm} \right| + \right. \\ \left. + \sum_{m=l+1}^n \left| \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} - \sum_{i=1}^n b_{ii} - b_{lm}}{n(n-1)} - b_{lm} \right| + \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ii} - b_{ll} \right| \right\}$$

Na rysunku 5 podano tablice korelacji wielokroci  $b$  i  $c$  z rys. 2. Tablica korelacji wielokrocza  $b$  (rys. 5a) posiada dyspersję równą 0, a dyspersja tablicy korelacji wielokrocza  $c$  (rys. 5b) wynosi 4.

	1	2	3	4
1	0	1/2	1/2	1/2
2	1/2	0	1/2	1/2
3	1/2	1/2	0	1/2
4	1/2	1/2	1/2	0

	1	2	3	4
1	0	1	0	1/2
2	1	0	1/2	0
3	0	1/2	0	1
4	1/2	0	1	0

Rys. 5. Tablica korelacji wielokroci  $b$  i  $c$  z rys. 2.

Opisana metoda wyboru optymalnego układu wielokrocza znajduje potwierdzenie w danych, przytoczonych przez Popowicza [11], a dotyczących przybliżonego rachunku

strat w wielokrociach oraz w rezultatach modelowania wielokroci niedoskonałych, uzyskanych przez Kruithofa [12].

Poniżej przedstawione zostaną analiza zastosowania tablicy korelacji i inne rozwiązania dotyczące wyboru optymalnego układu wielokrocia na podstawie wyników przeprowadzonych obliczeń i modelowania (rozdz. 4 i 7).

Jako przykłady wpływu wyrównanej tablicy korelacji na prawdopodobieństwo strat mogą służyć dane liczbowe strat dla wielokroci b i c z rys. 2, przytoczone w tabl. 1. i dla wielokroci nr 14 i 18 z rys. 4, przytoczone w tabl. 5. Wpływ ten jest szczególnie duży przy tych obciążeniach, przy których prawdopodobieństwo strat jest dostatecznie małe ( $0,01 + 0,001$ ). Zwykle dla takich strat obliczane są układy telefoniczne. Dla obciążenia  $\Lambda = 0,5$  wielokrocie (rys. 2b) z minimalną dyspersją tablicy korelacji posiada dwa razy mniejsze straty, niż wielokrocie przedstawione na rys. 2c, mające dyspersję  $D = 4$  (rys. 5b).

Wielokrocie nr 18 posiada prawdopodobieństwo strat wynoszące  $0,0057$  (tabl. 5), a wielokrocie nr 14 straty w wysokości  $0,0026$ . Tak więc, zmiana tablicy korelacji pozwoliła zmniejszyć straty więcej niż 2 razy. Istotny wpływ na wielkość strat ma rozbięcie pola styków na zbioru styków o jednakowej wydajności, tj. wybór liczb  $a_i$  ( $i = 1, \dots, 8$ ). Wyniki obliczeń podane w tabl. 5 pokazują, że zmiana liczb  $a_i$  może spowodować kilkakrotne zmniejszenie strat. Przy obciążeniu  $\hat{\Lambda} = 17,15$  wielokrocie nr 1 posiada prawdopodobieństwo strat  $\hat{\pi}(17,15) = 0,0016$ , a dla wielokrocia nr 17, które także cechowa-

ne jest wyrównaną tablicą korelacji  $\hat{\pi}(17,15) = 0,0038$ , a więc straty występujące w tych wielokrociach różnią się między sobą dwukrotnie.

Przy prawdopodobieństwie strat rzędu 0,001 różnice między stratami dla różnych wielokroci wg tabl. 4 wzrastają być może jeszcze kilka razy. Eksperymentalnie nie zostało to jeszcze udowodnione, ponieważ bezpośrednie modelowanie wielokroci przy tak małych stratach jest zupełnie nieopłacalne.

Trudności te można pokonać przez przyjęcie przybliżonej metody liczenia prawdopodobieństwa strat  $\hat{\pi}^*(\lambda)$  według znalezionej statystycznego warunkowego prawdopodobieństwa strat  $\hat{\nu}_\alpha(\lambda)$ . Rezultaty przyjęcia takiej metody do konkretnych wielkości (tabl. 1 i 3) wykazują, że ekstrapolacja nawet z zakresu bardzo dużych strat ( $\hat{\pi}/20/ = 0,7311$ ) do zakresu dostatecznie małych strat ( $\hat{\pi}(0,5) = 0,001125$ ;  $\hat{\pi}(0,25) = 0,0001495$ ) daje wynik  $\hat{\pi}^*(0,5) 20 = 0,001351$ ;  $\hat{\pi}^*(0,25) 20 (= 0,00018)$ , różniący się w obu przypadkach od wyniku dokładnego o mniej niż o połowę drugiej cyfry znaczącej.

Wyżej przytoczone wywody przekonują o realnej możliwości stworzenia tablic strat dla jednostopniowych niedoskonałych układów telefonicznych, które zawierałyby nie tylko prawdopodobieństwo strat wielokroci, określonych ogólnymi parametrami  $n, d, \nu$ , ale co jest możliwe, zawierałyby także dane, dotyczące optymalnego rozbięcia pola styków na żadaną ilość zbiorów styków.

Jak wiadomo [8], w celu obliczenia jednostopniowych

niedoskonałych układów wielokrotnych, specjaliści łączności posługują się obecnie tablicami, które zostały opracowane przez Lezersona [13] przybliżonymi metodami analitycznymi. W tablicach tych podane są zależności między określonym obciążeniem  $\Lambda$  a ilością łączy  $\nu$ , które załatwiają to obciążenie  $\Lambda$  przy zadanej wielkości prawdopodobieństwa strat  $\Pi(\Lambda)$ . Tablice opracowane są dla wielokroci o dostępności  $d = 10$ . W tablicach nie podano, jaką wybrać ilość grup składowych wielokrocia  $n$ , jak wykonać poszczególne zwielokrotnienia, czyli jak ukształtować poszczególne zbiory styków. Tablice Lezersona podają nieco zawyżoną liczbę niezbędnych łączy  $\nu$  w porównaniu do ilości łączy korzystniejszej zbudowanych wielokroci z tabl. 4 i z rys. 4.

Na przykład dla załatwienia obciążenia  $\Lambda = 17,15$ , przy prawdopodobieństwie strat  $\Pi(17,15) = 0,002$  przewiduje się 38 + 39 łączy (wielkość tę otrzymano przez interpolację danych z tablic [13]).

Rezultaty modelowania (tabl. 5) wykazują, że takie obciążenie, przy jeszcze mniejszych stratach zdolne są załatwić wielokrocia nr 1 i nr 4, z których wyprowadzone jest tylko 36 łączy, a więc około 6 + 7% mniej. A zatem zastosowanie optymalnych układów wielokroci może dać znaczne korzyści materialne.

Prawdopodobnie zamiana skomplikowanych układów wielokroci w istniejących centralach telefonicznych na układy optymalne dałaby jeszcze większe korzyści. W dużej mierze można by także poprawić jakość łączności telefo-

nicznej, ponieważ jak wykazują rezultaty przeprowadzonych obliczeń zamieszczonych w tabl. 5, nawet stosunkowo proste układy mające jednakową ilość organów telefonicznych i różniące się tylko odmiennym wykonaniem wielokrotności w polu styków [8], mogą dawać straty różniące się czterokrotnie.

#### WYKAZ LITERATURY

1. Chinczin A.J.: Matematyčeskije metody teorii massowego obslužiwanija. Tr. Matem. Instituta AN ZSRR. 1955, nr 49.
2. Baszarin G.P.: Ob analityczeskome opriędieleńi i metodach wyczislenija wierojatnostiej potier w komutacjonnych schemach. Problemy pieriedaczi informaczi. 1961, nr 9 Izdatielstwo AN ZSRR.
3. Baszarin G.P.: O staticzeskich ocenkach wierojatnosti potier i drugich charakteristik kommutacjonnych schem s otkazami. Elektroswiaź. 1962, nr 3.
4. Baszarin G.P., Szwalb W.P.: O modelirowanii diejstwija kommutacjonnych schem metodom Monte - Karlo. Izw. AN ZSRR, OTN, Energetika i awtomatika. 1962, nr 3.
5. Ososkow G.A.: Metodika modelirowanija slučajnych cziseł na ECWM. Woprosy radioelektroniki, ser. XII, 1959, nr 13.



6. Golenko D.I.: Obrazowanie sluczajnych wieliczin c proizwolnym zakonom raspriedielenija. Wyczistitiel'naja matematika, 1959, nr 5.
7. Sewastianow B.A.: Ergodiczeskaja tieorema dla markovskich processow i jego primienienije k tielefonnym sistiemam s otkazami. Tieorija wierojatnostiej i jego primienienija. 1957, 2,1.
8. Marchaj Je.W., Roginskij W.N., Charkiewicz A.D.: Awtomaticzeskaja tielefonija. Swiazizdat, 1960.
9. Baszarin G.P.: Tablicy wierojatnostiej i srednich kvadraticzeskich otklonienij patier na polnodostupnom puczkie linij. Izdatielstwo AN ZSRR, 1961.
10. Wallström B.: Artificial traffic trials on a two-stage link system using a digital computer. Ericsson tech. 14. 1958, nr 2.
11. Popovic Z.: Medusobno vezivaje birača u automatskim telefonskim centralama počeu nesavršenih snopova. Publikacija elektrotehničkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu. 1961, nr 26.
12. Kruithof J.: Rotary traffic mashine. Electrical communication, 23, 1946, nr 2.
13. Lezerson W.K.: Racczjet oborudowanija dekadno-szagogych awtomaticzeskich tieliefonnych stancij ATC - - 47. Swiazizdat, 1952.

14. Kowalenko I.N.: Ob usłowii niezawisimosti wierożatnostiej sostojanij sistiemy obsłużiwanija ot wida rasprzedielenija wremieni obsłużiwanija. Problemy pieriedaczi informaczi. Izdatielstwo AN ZSRR, 1962, nr 11.

621.395.31
621.395.342.24
621.395.34

## STANDARYZACJA PRZEMIESZANYCH WIELOKROCI JEDNOSTOPNIOWYCH W NIEMIECKIEJ TECHNICIE TELEKOMUTACJI

Opracował M. Feret<sup>1)</sup>

### 1. WSTĘP

Zagadnienie standaryzacji występujących w praktyce różnych typów zwielokrotnień wyjść z pól stykowych wybieraków jest prawie tak samo stare, jak i zagadnienie tworzenia wielokroci. Głównymi czynnikami, które wywierają wpływ na standaryzację zwielokrotnień, są:

- a) prostota wykonania zwielokrotnień,
- b) łatwa zmiana zwielokrotnień w czynnej centrali,
- c) optymalne wykorzystanie wiązki łączy wychodzących z wielokrociami [1].

---

<sup>1)</sup> K. Trautmann: Normmischungen für einstufige Koppe-  
lanordnungen der Vermittlungstechnik. Nachrichtentechnische Zeitschrift 1963, nr 5.

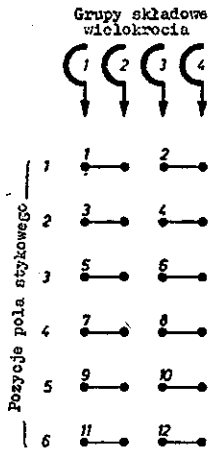
d) duża tłumienność przesłuchu.

W związku z automatyzacją telefonicznego ruchu krajowego, a przede wszystkim z jego szybkim wzrostem trzeba było stale dopasowywać wielokrocza w centralach międzymiastowych do zmieniających się warunków ruchowych. Oczywiście przy systemach dwutorowych ilość przewodów przełączeniowych i miejsc lutowniczych przypadających na łącze jest większa niż przy systemach jednutorowych, występujących w telefonii miejscowej. Dążenie do systematyzacji, występujących w praktyce zwielokrotnień, zostało z tego względu poważnie nasilone. Z drugiej strony, przez wprowadzenie do eksploatacji wybieraków motorowych (EMD), u których dostępność "k" pola stykowego może być dostosowywana do potrzeb, powstały zupełnie nowe przesłanki do standaryzacji zwielokrotnień.

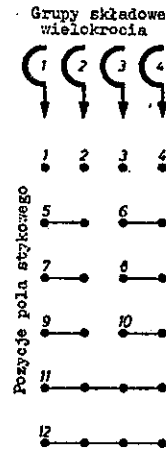
## 2. ZASADNICZE RODZAJE ZWIEŁOKROTNIEŃ

W celu łatwiejszego zrozumienia omawianego zagadnienia należy przede wszystkim wyjaśnić sposoby wykonywania różnych rodzajów zwielokrotnień. Należy przy tym podkreślić, że wszystkie rozpatrywane układy dotyczą wybieraków, które dokonują wyboru poszczególnych łączy wiązki w pewnej stałej kolejności, a więc gdy szczotki wybieraków mają stałą pozycję spoczynkową.

1. Najprostszą formą zwielokrotniania łączy jest tak zwane wielokrocze proste (rys. 1). Wskutek rozdzielania wiązki łączy wychodzących na małe wiązki cząstkowe sprawność ruchowa tego rodzaju wielokrocza jest niska.



Rys. 1. Wielokrocze proste



Rys. 2. Wielokrocze stopniowane

2. Następnym rodzajem zwielokrotniania jest stopniowanie (rys. 2). Opierając się na fakcie, że natężenie ruchu podawane na poszczególne łącza wiązki maleje silnie wraz ze wzrostem kolejnego numeru wyjścia (na rysunku od góry do dołu), początkowym pozycjom wielokrocza przyporządkowuje się stosunkowo dużą ilość łączy wychodzących. Na następne z kolei pozycje wielokrocza przeznacza się "stopniowo" coraz mniejszą ilość łączy wychodzących. W literaturze niemieckiej ten sposób wykonywania zwielokrotnień nosi nazwę wg Langer'a "reine Staffelf" [2] lub często ze względu na łączenie w prosty sposób sąsiednich wyjść z pola nazywany jest także "gerade Staffel".

Wydażność ruchowa wiązki łączy wychodzących z wielokrocza zostaje za pomocą stopniowania zwiększona w stosunku do wydajności takiej samej wiązki, uzyskanej przez

zwielokrotnienie proste. Zostało to udowodnione w pracach Langerera [3], Lubbergera [4], Wilkinsona [5], O'Della [6] i innych. Przy oferowaniu ruchu w sposób wygładzony na wielokrocie złożone, o dostępności  $k = 10$  i planowanych stratach  $B = 1\%$ , wydajność wiązki łączy wychodzącej z wielokrocza uzyskanego przez stopniowanie, jest około 20% większa od wydajności takiej samej wiązki, uzyskanej przez zwielokrotnienie proste. Ten przyrost wydajności jest jednakże związany z wykonaniem stopniowania według pewnej reguły. W myśl tej reguły, na początkowe wyjścia pól stykowych wybieraków, na które przypada największy ruch, przeznaczają się najwięcej łączy wychodzących. Ilość tych łączy maleje w miarę wzrostu kolejnej numeracji wyjść z pól stykowych. Z obliczeń przeprowadzonych przez Lubbergera wynika, że na początkowe wyjścia pól stykowych do połowy dostępności tych pól przyłączonych jest około 70% potrzebnej ilości łączy wychodzących. W szczególności dotyczy to wielokroci o stratach  $B = 1\%$ , jednakże przy stratach mniejszych lub większych nie ma zasadniczych odchyłeń od tej wartości.

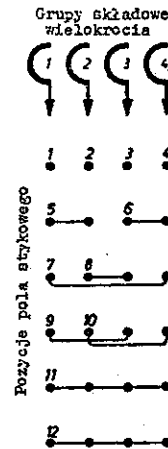
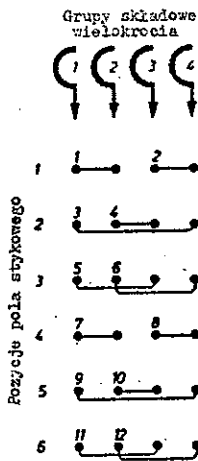
Pewną odmianę stopniowania, a mianowicie, stopniowanie łagodnie progresywne (ang. smooth progression grading, niem. allmählich fortschreitende Staffel) zaproponował O'Dell. Przy tym sposobie stopniowania, udział łączy wychodzących, przypadających na pierwszą połowę osiągalności pola przewyższa w ogólności 70%.

3. Trzecim sposobem wykonywania zwielokrotnień jest przechwytywanie (bez stopniowania). Termin "przechwyty-

wanie" oznacza, że równoległe łączenie wyjść z poszczególnych grup składowych wielokrocza dotyczy nie tylko sąsiadujących ze sobą wyjść, ale także, że łączone są ze sobą wyjścia z grup składowych wielokrocza nie leżących obok siebie (rys. 3). Przy przechwytywaniu zwielokrotnia się ilości wyjść wśród różnych grup składowych. Przez wzajemne powiązanie różnych grup składowych wielokroci osiąga się to, że przy zajętości wszystkich wyjść z jakiejś grupy składowej wielokrocza nie uniemożliwia się jednocześnie ruchu z grupy składowej sąsiedniej, lecz ujemne skutki takiego przeciążenia rozkładają się równomiernie na większą ilość grup składowych. Z rys. 3 widać, jak każde kolejne wyjście z grupy składowej pierwszej łączone jest z wyjściem z coraz to innej grupy składowej. Oczywiście to samo dotyczy wyjść pozostałych grup składowych. W podanym przykładzie, w przypadku zajęcia wszystkich wyjść z jakiejś grupy składowej wielokrocza, liczba zajętych wyjść w pozostałych grupach składowych wielokrocza wynosi 2. Przy wykonywaniu zwielokrotnień przez przechwytywanie z równomiernym rozkładem wpływu zajętości, wydajność wiązki łączy wychodzących, przy oferowaniu ruchu wygładzonego jak i w szczególności przypadkowego, jest większa niż w przypadku gdy zwielokrotnienie wykonane jest przez stopniowanie. Udowodniło to wielu autorów, jak np. Kuntze [7], Einarsson, Hakansson, Lundgren i Tange [8] oraz Longley [9]. Zwielokrotnianie przez przechwytywanie jest często nazywane także zwielokrotnianiem cyklicznym.

Obliczenia wykonane w firmie Siemens na maszynie ma-

tematycznej 2002 wykazały, że wskutek wykonania zwielokrotnień przez przechwytywanie (bez stopniowania), w przykładzie, gdzie osiągalność  $k = 10$ , planowane straty  $B = 1\%$ , a oferowany ruch jest wygładzony, wydajność wiązki łączny wychodzących jest większa średnio o około 23% od wydajności w przypadku, gdy zwielokrotnianie wykonywane jest w sposób prosty.



Rys. 3. Wielokrocze przechwytywane Rys. 4. Wielokrocze stopniowane i przechwytywane

W przypadku stosowania wybieraków bez stałej pozycji spoczynkowej uzyskuje się przez takie niestopniowane zwielokrotnianie, posiadające dobry rozkład wzajemnego wpływu zajętości łączy, optymalną wydajność wiązki łączny wychodzących. Wykazał to jednoznacznie w swych pracach Kruithof [11]. Ten rodzaj zwielokrotnień określił on jako homogeniczne.

Połączenie stopniowania z przechwytywaniem, przy sto-

sowaniu wybieraków ze stałą pozycją spoczynkową, prowadzi do zwielokrotnienia pokazanego na rys. 4.

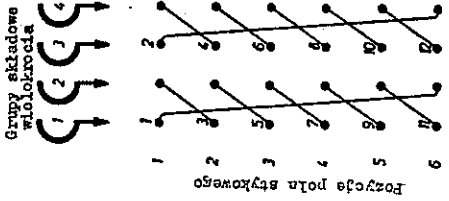
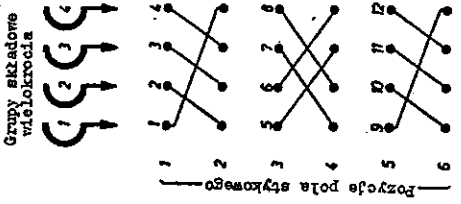
Dzięki tego rodzaju zwielokrotnieniu, które jednocześnie zalety stopniowania i przechwytywania, uzyskuje się, jak można było zresztą oczekiwać, większą wydajność wiązki łączy wychodzących w stosunku do wiązki łączy, uzyskanych tylko przez stopniowanie lub tylko przez przechwytywanie [2]. W stosunku do wielokrocza prostego, wydajność tego rodzaju zwielokrotnień jest większa o około 30%. W odniesieniu do wydajności ruchowej wiązki łączy całkowicie dostępnych wydajność wiązki uzyskanej przez ten typ zwielokrotnień dochodzi do 70% np. dla przypadku, gdy wiązka ta składa się ze 100 łączy, oferowany ruch jest wygładzony, osiągalność  $k = 10$ , a planowane straty 1%.

4. Czwartym podstawowym sposobem wykonywania zwielokrotnień jest tak zwane wielokrocze skośne. Przy tym sposobie zwielokrotniania łączy się między sobą wyjścia z poszczególnych grup składowych wielokrocza o niejednakowych numerach.

Wszystkie trzy poprzednio opisane sposoby wykonywania zwielokrotnień mogą uwzględniać także "ukosowanie". Na rys. 5 podany jest przykład połączenia wielokrocza prostego z wielokrociem skośnym, a na rys. 6 wielokrocza stopniowanego z wielokrociem skośnym.

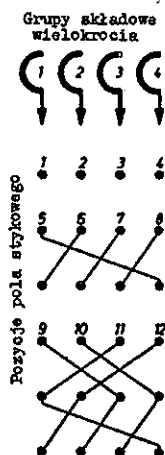
Rysunek 7 pokazuje przykładowo jak wygląda połączenie wielokrocza przechwytywanego z wielokrociem skośnym. W tym ostatnim przypadku są połączone ze sobą wyj-





Rys. 5. Wielokrocze skośne stopniowane Rys. 6. Wielokrocze skośne, stopniowane Rys. 7. Wielokrocze skośne, przechwytywane

ścia o różniących się numerach i jednocześnie z nie sąsiadujących ze sobą grup składowych wielokrocica. Wielokrocie skośne daje duże korzyści techniczne i ruchowe, natomiast wydajność wiązki łączy wychodzących z wyjątkiem przypadków szczególnych pozostaje praktycznie bez zmian [12]. Wielokrocie skośne przyczynia się do równomiernego obciążenia łączy wychodzących. Wskazał na to także w swoich pracach Kruithof [13]. Poza tym, przy zachowaniu całkowitej symetrii wielokrocica, dzięki stosowaniu ukosowania, ilość grup składowych wielokrocica może być liczbą nieparzystą [13]. Przy pomocy ukosowania, dopasowanego do konstrukcji pola wielokrotnego wybieraków, uzyskuje się optymalną tłumienność przesłuchu, ponieważ leżące obok siebie obwody w jakiejś grupie składowej wielokrocica łączy się z innymi, nie sąsiadującymi ze sobą obwodami innych grup składowych wielokrocica.



Rys. 8. Wielokrocie skośne, przechwytywane i stopniowane

5. Wielokrocie, które miałyby jednoczyć w sobie zale-  
ty trzech omówionych, podstawowych sposobów wykonywania  
zwielokrotnień, tzn. stopniowania, przechwytywania i u-  
kosowania, musi być oczywiście zbudowane z elementów tych  
trzech wielokroci podstawowych. Przykład takiego wielo-  
krocza pokazany jest na rys. 8.

Ten sposób wykonywania wielokroci określony jest w  
Polsce terminem "mieszanie", a utworzone wielokrocie no-  
si nazwę wielokrocza przemieszanego.

### 3. ZASTOSOWANIE RÓŻNYCH RODZAJÓW ZWIELOKROTNIEŃ

Decyzja o tym, jaki zastosować w praktyce sposób wy-  
konywania zwielokrotnień zależy nie tylko od wydajności  
wiązki łączy wychodzących, ale także między innymi od  
prostoty wykonania tych zwielokrotnień i łatwości wyko-  
nania zmian w wielokrociach w czynnej centrali. Stąd wy-  
wodzi się dążenie do usystematyzowania zwielokrotnień.  
Oczywiście, łatwiej jest usystematyzować proste sposoby  
dokonywania zwielokrotnień niż sposoby, które łączą w  
sobie dwie lub trzy podstawowe metody budowy wielokroci.

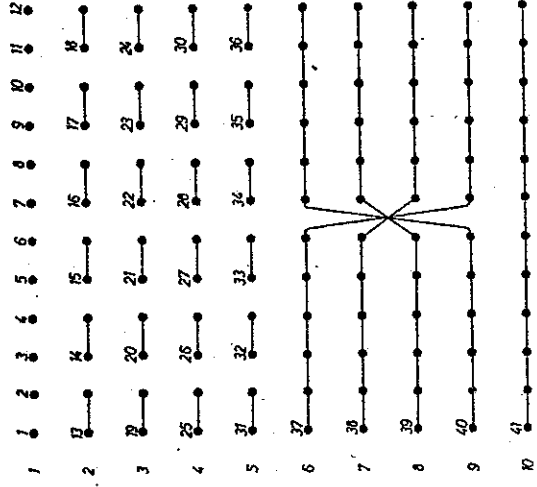
1. Różne zarządy telefonów publicznych, a przede wszy-  
stkim zarządy telefonów w krajach anglosaskich stosują  
stopniowanie (Straight grading) jako zwielokrotnianie  
standardowe. I tak na przykład "Amerykańskie Towarzystwo  
Telefoniczno-Telegraficzne (ATT) stosuje instrukcję wy-  
konywania zwielokrotnień (grading patterns), która zo-  
stała opracowana na podstawie obliczeń wykonanych przez  
Wilkinsona [5]. Według tej instrukcji, w przypadku sto-

sowania wybieraków o dostępności  $k = 10$ , w zasadzie zwielokrotnia się ostatnie pięć wyjść.

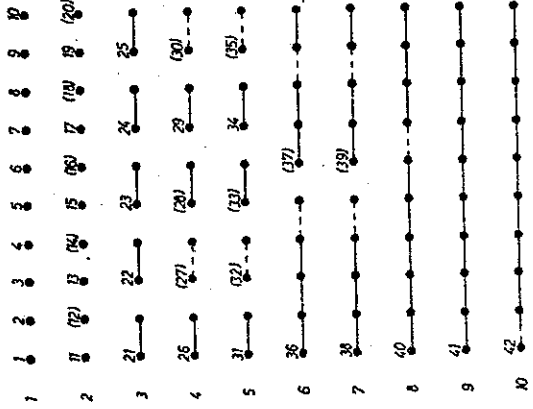
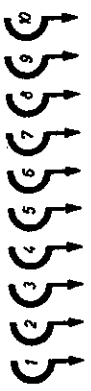
Przy tym sposobie wykonywania zwielokrotnień, zgodnie z wyliczeniami Wilkinsona, możliwe jest łączenie w jedną wiązkę maksymalnie 45 wyjść. W przypadku konieczności zrealizowania większej ilości wyjść musi być ona odpowiednio dzielona. Przykład takiego zwielokrotnienia pokazany jest na rys. 9.

2. Następnym przykładem praktycznego zastosowania stopniowania są tabele stopniowania wykonane przez Poczte Brytyjską (British Post Office - BPO), znane w Polsce w postaci Instrukcji Technicznej Nr TS-105, wydanej przez Ministerstwo Poczty i Telegrafów w 1952 r. Według tych tablic można wykonać każde potrzebne zwielokrotnienie wyjść z wielokroci jednostkowych. Poszczególne połączenia zwielokrotniające te wyjścia są wykonywane z reguły nie za pomocą przewodów przełącznicowych (krosówki) lecz za pomocą gołego drutu, z którego tworzy się krótkie mostki, łączące sąsiednie piórka łączówki. Aby zachować symetrię w obciążeniu grup składowych wielokrocia, ilość tych wielokroci musi być zawsze parzysta. Tłumienność przesłuchu jest wystarczająca dzięki dzieleniu wiązek łączy wychodzących.

Na rysunku 10 pokazano przykład stopniowania, wykonanego według tabel BPO. W przypadku konieczności zwiększenia ilości grup składowych wielokrocia z 10 do 12, na przykład na skutek rozbudowy centrali przy zachowaniu tej samej wiązki łączy wychodzących - wtedy, nawet



Rys. 9. Przykład wielokrocza wg AFTT /12 grup składowych, 41 łączy wychodzących, dostępność  $k = 10$ /

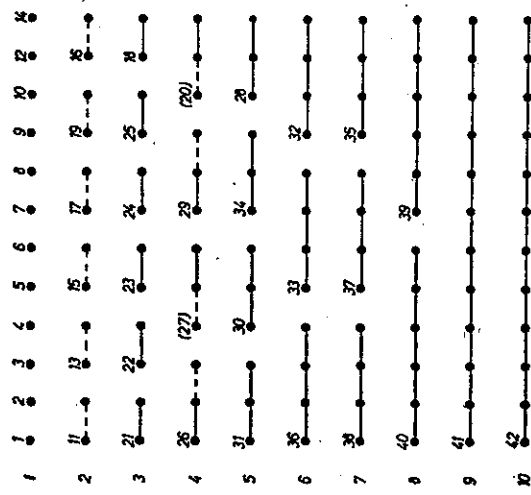
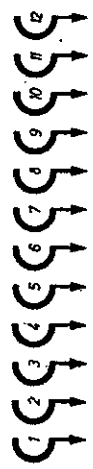
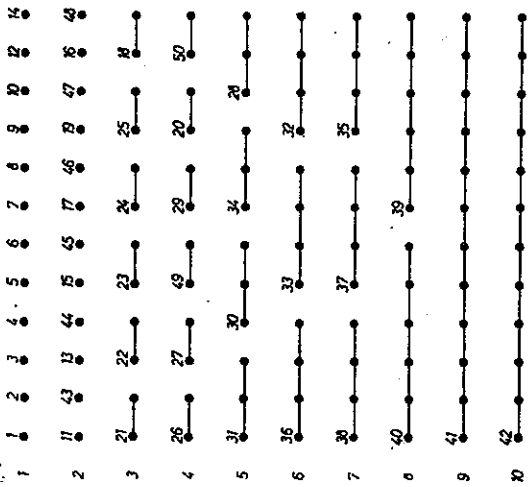
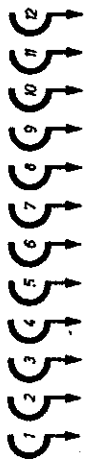


Rys. 10. Przykład wielokrocza wg BFO /10 grup składowych, 42 łączy wychodzące, dostępność  $k = 10$ /

w tym prostym układzie należy zmienić pewną ilość połączeń istniejących w pierwotnym wielokrociu. Pokazane na rys. 10 dziewięć połączeń oznaczonych linią przerywaną oraz trzynaście wyjść oznaczonych numerem w nawiasie należy przy rozbudowie rozłączyć. Nowe wielokrocie pokazane na rys. 11 ma w stosunku do poprzedniego wielokrocza pokazanego na rys. 10 wprowadzone 42 nowe połączenia. Razem należy więc wykonać  $9 + 13 + 42 = 64$  zmiany. Minimalna ilość 20 połączeń, związana z uzupełnieniem układu o dwie nowe grupy składowe wielokrocza o dostępności  $k = 10$ , została w ten sposób przekroczona o 220%.

Jeżeli teraz, przy zachowaniu dotychczasowej ilości grup składowych wielokrocza, a mianowicie 12, należałoby zwiększyć ilość łączy wychodzących z 42 na 50, to wtedy trzeba zlikwidować pokazane na rys. 11 dziesięć mostków i dwa łącza wychodzące (rys. 12). Ponieważ natomiast wykonać należy 12 nowych połączeń, ilość więc zmian wynosi  $10 + 2 + 12 = 24$ . W porównaniu do nakładu minimalnego operacji, który w tym przypadku wynosi 16 (rozłączeń i połączeń), ilość faktycznie wykonanych operacji wzrasta o 50%.

Z przytoczonych wyżej wywodów wynika, że odczytywanie z tabel BPO sposobu wykonania wielokrocza jest łatwe, jak i prosty jest sam sposób wykonania tego wielokrocza. Pomimo jednak tej prostoty, w przypadku konieczności wykonania rozbudowy urządzeń, należy dokonać niemałych zmian w istniejących wielokrociach. Poza tym wydajność ruchu wielokroci wykonanych według tabel tak ATT, jak i BPO



Rys. 11. Przykład wielokrocia wg BFO /12 grup składowych, 42 łącza wychodzące, dostępność  $k = 10$ /

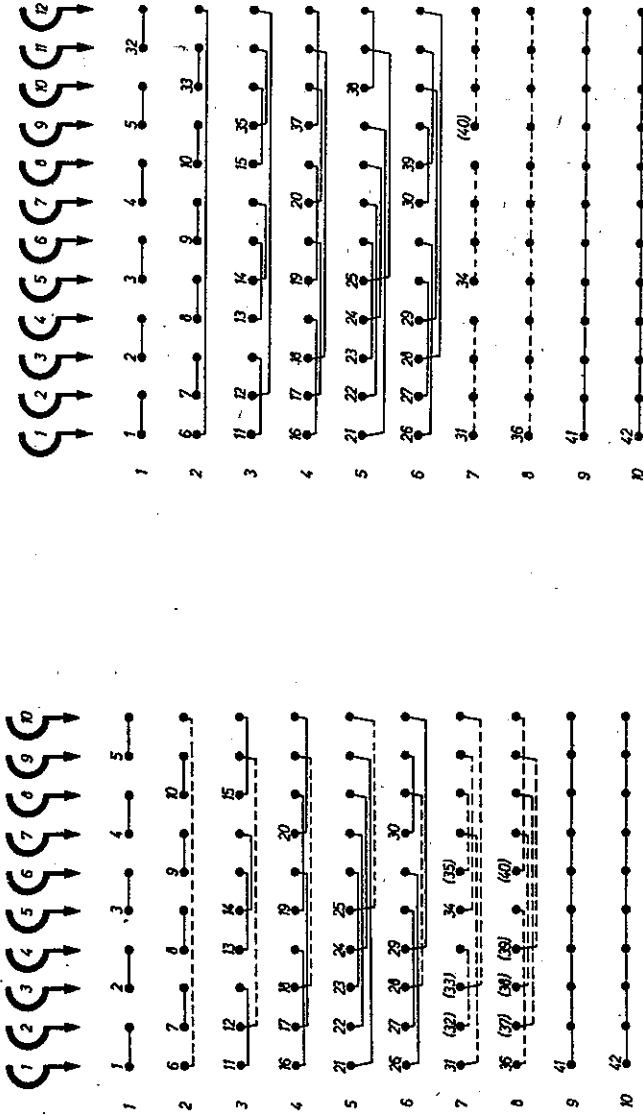
Rys. 12. Przykład wielokrocia wg BFO /12 grup składowych, 50 łącza wychodzących, dostępność  $k = 10$ /

nie sięga teoretycznie możliwej wydajności, którą można uzyskać przez wyrównane zestopniowanie wyjść.

3. Nowa koncepcja wykonywania zwielokrotnień w uproszczonej formie powstała w Szwecji [8]. W celu ułatwienia personelowi ruchu dokonywania zmian w wielokrociach łączone są ze sobą prawie zawsze tylko dwa wyjścia z grup składowych wielokrocza. Jednocześnie przez dobry rozdział obciążeń na poszczególne wyjścia z grup składowych wielokrocza powinna być uzyskana korzystna wydajność ruchowa całego wielokrocza. To wymaga wielokrocza niestopniowanego, lecz przechwytywanego. Zasada ta jednak jest o tyle nie przestrzegana, że ostatecznie pozycje pól zwielokrotnych zaleca się jednocześnie łączyć wszystkie ze sobą. Występuje więc w ograniczonym zakresie stopniowania wielokrocza. W ten sposób podnosi się sprawność ruchową wiązki łączy wychodzących.

Sposób wykonania przechwytywania jak i jego kolejność jest ustalona w instrukcji o "uproszczonym zwielokrotnianiu z przechwytywaniem" (Simplified grading with skipping). Oszczędza to opracowywania indywidualnych planów budowy wielokroci. Przy sporządzaniu tej instrukcji uwzględniono wymaganie dokonywania łatwych zmian w istniejących wielokrociach. Wielkość tak zbudowanego wielokrocza złożonego nie może przekraczać 12 grup składowych tego wielokrocza. Ilość grup składowych wielokrocza musi być liczbą parzystą. Na rys. 13 pokazane jest wielokrocze wykonane według szwedzkiej koncepcji. Podobnie jak w przykładzie poprzednim, gdzie omawiane było

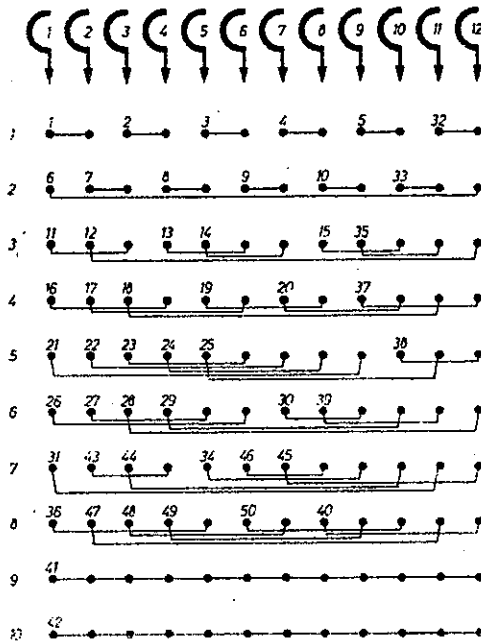




Rys. 13. Przykład wielokrocza szwedzkiego /10 grup składowych, 42 łącza wychodzące, dostępność  $k = 10/$

Rys. 14. Przykład wielokrocza szwedzkiego /12 grup składowych, 42 łącza wychodzące, dostępność  $k = 10/$

stopniowanie, rozpatrzony zostanie przypadek zmiany wielokrocza, gdy ilość grup składowych wielokrocza zwiększa się z 10 na 12. Z porównania rys. 13 i rys. 14 widać, że 22 połączenia, oznaczone na rys. 13 linią przerywaną lub numerem w nawiasie, muszą być usunięte. Dla zbudowania dalej wielokrocza pokazanego na rys. 14 muszą być wyko-



Rys. 15. Przykład wielokrocza szwedzkiego /12 grup składowych, 50 łączy wychodzących, dostępność  $k = 10/$

nane nowe 42 połączenia. Daje to razem  $22 + 42 = 64$  zmiany (220% więcej od minimalnego nakładu zmian). Jeżeli teraz wielokrocze pokazane na rys. 14 ma być zmienione przez dodanie 8 nowych łączy wychodzących, to należy poownie usunąć 21 połączeń i wykonać 21 dodatkowych (rys. 15). Daje to razem 42 zmiany, a więc o 163% więcej od minimalnego nakładu zmian.

4. W firmie Siemens i Halske prowadzone już były od dawna prace, aby w indywidualnie sporządzanych wielokrociach, przez jednoczesne stosowanie stopniowania, przechwytywania, a częściowo także i ukośowania, a więc mieszania, uzyskać optymalną wydajność wiązki łączы wychodzących. To wymagało naturalnie większego nakładu pracy tak na wykonanie wielokrocia, jak i zmian w wielokrociu istniejącym. Podczas gdy poprzednio duży nakład pracy na wykonanie wielokrocia był przede wszystkim usprawiedliwiony wysoką wydajnością wiązki łączы wychodzących, to obecnie standaryzacja mieszania przyniosła od 20% do 40% oszczędności na nakładach związanych ze zmianami istniejących wielokroci. Te oszczędności mogą być uzyskane bez uszczuplenia wydajności ruchowej wiązki łączы wychodzących. Nakłady pracy na zmiany istniejących wielokroci są w ogólności nawet mniejsze przy stosowaniu mieszania standardowego aniżeli w stosowanych przeważnie za granicą systemach wielokrotniania łączы.

Dla małych wiązek łączы stosuje się już od wielu lat tak zwane "plany regularnego mieszania" (Regelmischpläne). Te plany są tak pomyślane, że przy rozbudowie wielokrocia, a w szczególności zmiany ilości grup składowych wielokrocia, nie potrzeba dokonywać żadnych lub prawie żadnych zmian w istniejącym wielokrociu złożonym.

#### 4. ROZWÓJ JEDNOSTOPNIOWEGO MIESZANIA STANDARDOWEGO

Firma Siemens i Halske rozpoczęła w 1959 r. w porozumieniu z Zarządem Poczty w NRF prace nad sporządze-

niem standardowych zwielokrotnień łączy dla jednostopniowych układów wybierczych wszystkich wielkości i to nie tylko dla wybieraków typu podnosząco-obrotowego, ale także dla wybieraków typu motorowego (EMD). Na początku 1961 r. można było uważać, że podstawowe prace nad tym zagadnieniem zostały zakończone.

Przy sporządzaniu reguł mieszania standardowego, które w międzyczasie zostały już przez Poczta Niemiecką powszechnie wprowadzone do użytku, postawiono następujące wymagania:

a) wysoka wydajność ruchowa wiązki łączy wychodzących z wielokrocza złożonego, która została osiągnięta przez mieszanie (stopniowanie i przechwytywanie) i która znalazła swoje oparcie w przyjętych przez Niemiecką Poczta podstawach obliczeń według firmy Siemens i Halske, powinna być utrzymana nadal,

b) mieszanie standardowe powinno być wykonywane jak najmniejszym nakładem pracy zarówno przy tworzeniu wielokrocza, jak i przy jego rozbudowie,

c) mieszanie standardowe powinno zapewnić możliwie dużą tłumienność przesłuchu między poszczególnymi łączykami.

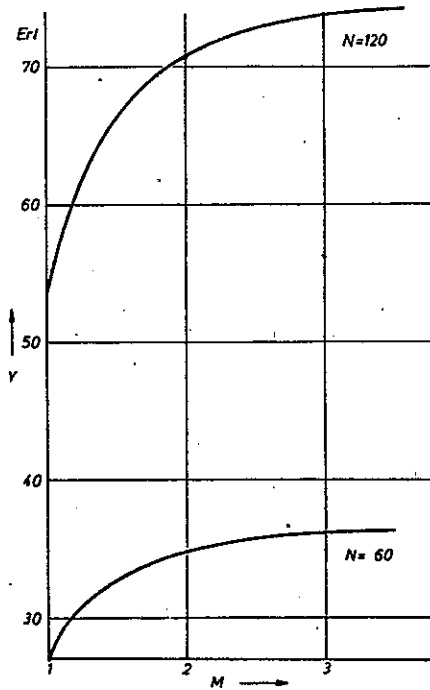
Aby spełnić trzy powyższe, wzajemnie częściowo wykluczające się wymagania podstawowe, zrobiono następujące korzystne spostrzeżenie: wydajność wiązki łączy wychodzących z wielokrocza złożonego jest nie tylko zależna od sposobu wykonania wielokrocza, ale także od tak zwa-

nego "ilorazu wielokrocicia". Przez iloraz wielokrocicia (M) - należy rozumieć stosunek wszystkich wyjść z wielokrocicia, a więc iloczyn liczby grup składowych wielokrocicia (g) przez liczbę dostępności (k) do ilości łączy wychodzących (N):

$$M = \frac{g \cdot k}{N}$$

Im większy jest iloraz wielokrocicia, to znaczy im więcej jest możliwości dokonania zwielokrotnień łączy, tym większa może być - aż do osiągnięcia pewnego stopnia nasycenia - wydajność wiązki łączy wychodzących.

Na rysunku 16 pokazane są przybliżone krzywe wydajności ruchowej (y) dla 60 i 120 łączy wychodzących w zależności od ilorazu wielokrocicia (M). Krzywe zostały wykonane w następujących warunkach: wielokrocicie zostało wykonane przez przemieszanie, dostępność  $k = 10$ , planowane straty  $B = 1\%$ , a oferowany ruch miał charakter przypadkowy. Jako daną wyjściową do obliczeń, założono pewien określony minimalny iloraz wielokrocicia. W przypadku zaniżenia tego ilorazu nie można było uzyskać przez przemieszanie wielokrocicia żądanej wydajności ruchowej wiązki łączy wychodzących. Minimalny iloraz wielokrocicia  $M_{\min}$  wynosi, przy różnych wyjściowych danych obliczeniowych najczęściej 2. Wzrost wydajności, który ma miejsce wtedy, gdy w praktyce występuje o wiele wyższy iloraz wielokrocicia, a zwłaszcza przy zwielokrotnieniach o dobrym rozkładzie zajętości łączy, nie został uwzględniony przy obliczaniu ilości łączy wychodzących, ponie-



Rys. 16. Krzywe wydajności ruchowej "y" wiązki składającej się z 60 lub 120 łączy wychodzących w funkcji ilorazu wielokrocza M

waż zakres obliczeń stałby się zbyt obszerny. Z rozważań powyższych wynika, że "punkt krytyczny" wielokrocza występuje w warunkach, gdy będący podstawą obliczeń minimalny iloraz wielokrocza ma wartość w naszym przypadku równą 2. Przy tym ilorazie wielokrocza, należy wykonać przemieszanie tak pod względem stopniowania, jak i rozdziału zajętości łączy, w sposób jak najbardziej staranny. Przy ilorazie wielokrocza  $M > 2$  można pozwolić sobie na pewne ustępstwo odnośnie dobroci rozdziału zajętości łączy czy też stopniowania nie naruszając w ten

sposób założonej wydajności wiązki łączy wychodzących. Na takich podstawach oparte są przemieszania standardowe, opracowane przez firmę Siemens i Halske dla wielokroci jednostopniowych. Przemieszania standardowe obejmują wielokrocia o dostępności od  $k = 4$  do  $k = 25$ , a ponadto zostały opracowane w głównych zarysach dla dostępności  $k = 40$ . Ilość grup składowych wielokrocia zawarta jest w przedziale od 4 do 60, ale ilość ta może być łatwo przekroczona. Jeżeli chodzi o ilość łączy wychodzących i wielkość natężenia ruchu telefonicznego, przypadającego na grupę składową wielokrocia, to przemieszania standardowe obejmują wszystkie, występujące w praktyce wartości. Przez przemieszania standardowe uzyskano znaczne zmniejszenie ilości potrzebnych do wykonania zmian w przewodach przełącznicowych w stosunku do przemieszań, wykonywanych dotychczas, a więc niestandardowych, i to zarówno w przypadku zmiany ilości grup składowych wielokrocia, zmiany ilości łączy wychodzących, jak i zmian w dostępności organów komutacyjnych. Wyniki badań testowych wykazały, że wysoka wydajność wiązki łączy wychodzących z wielokrocia, będąca podstawowym warunkiem wyjściowym obliczeń, przeprowadzonych w firmie Siemens i Halske przy projektowaniu urządzeń telefonicznych [14], została osiągnięta przez standardowe przemieszanie wielokroci.

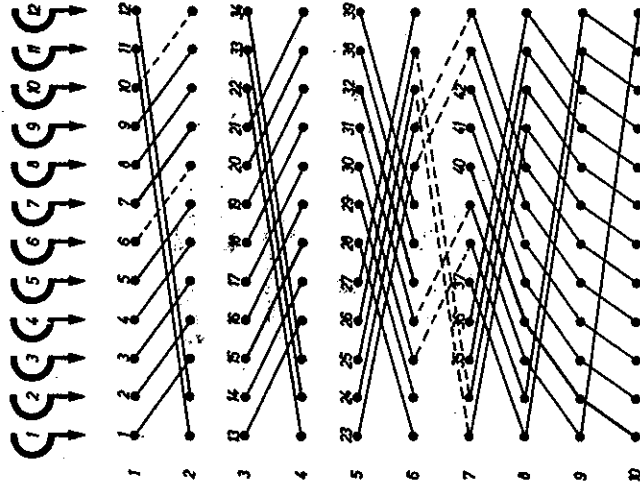
Reasumując należy stwierdzić, że przemieszania standardowe są to takie przemieszania, które nie muszą być opracowywane indywidualnie, lecz mogą być odczytywane z gotowych wzorów. Zostały one opracowane w celu dokonywa-

nia łatwych zmian w istniejących wielokrociach, przy czym została zagwarantowana wysoka wydajność wiązki łączy wychodzącej z wielokrociami, jak i optymalna tłumienność przesłuchu.

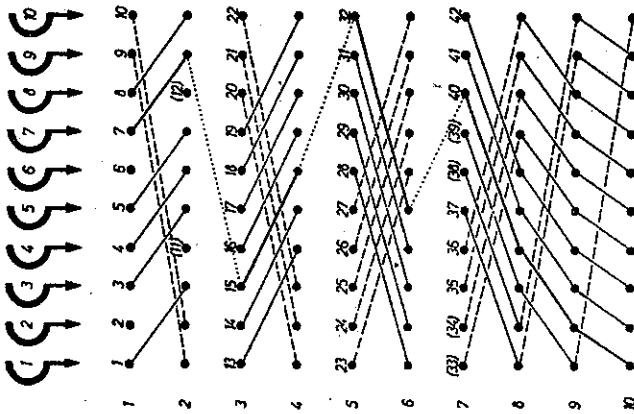
5. Zastosowanie praktyczne jednostopniowego mieszania standardowego.

Za pomocą kilku przykładów zostanie pokazany system tworzenia jednostopniowych, standardowych wielokroci przemieszanych. Jednocześnie wyjaśniony zostanie sposób wykonania minimalnego nakładu pracy, związanego z rozbudową istniejącego wielokrociami złożonego. Na rys. 17 pokazane jest przykładowo wielokrociami przemieszane standardowo. Powstało ono przez stopniowanie, przechwytywanie i ukosowanie. Rzuci się w oczy, że nie wszystkie połączenia przechwytyjące ukośne przebiegają w tym samym kierunku. Jeżeli będziemy rozpatrywali połączenie, przebiegające przez wszystkie kolejne pozycje dostępności pola stykowego - od pierwszej do ostatniej - oznaczone na rysunku linią ciągłą i kropkowaną, to okaże się, że połączenie to ma z każdą grupą składową wielokrociami tylko jeden punkt wspólny. Dzięki temu powstaje możliwość, przy zmianie ilorazu wielokrociami (np. zmniejszeniu ilości łączy wychodzących z wielokrociami złożonego), wykonać dodatkowe połączenie wg linii kropkowanej, przy czym istniejące połączenia w polu wielokrotnym pozostają niezmiennione. Przy każdej dowolnej ilości łączy wychodzących z wielokrociami zapewnione są jednocześnie dobre stopniowanie i rozkład równomierny obciążeń, jak i wysoka





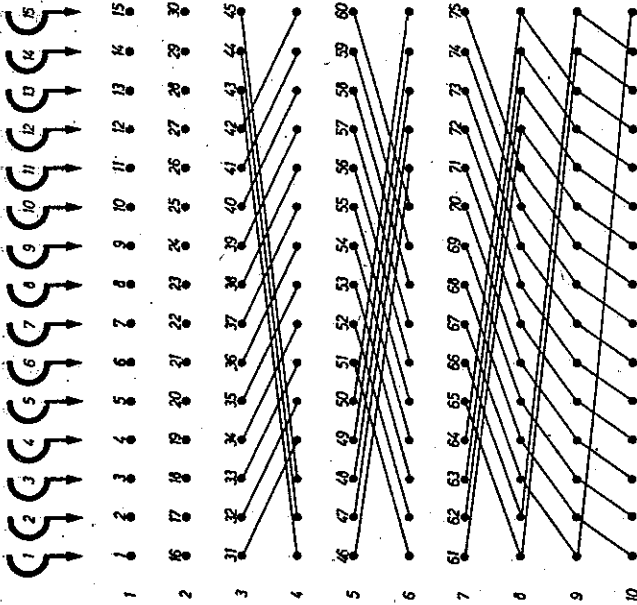
Rys. 17. Przykład przemieszania standardowego wg S i H /10 grup składowych, 42 łączy wychodzące, dostępność  $k = 10$ /



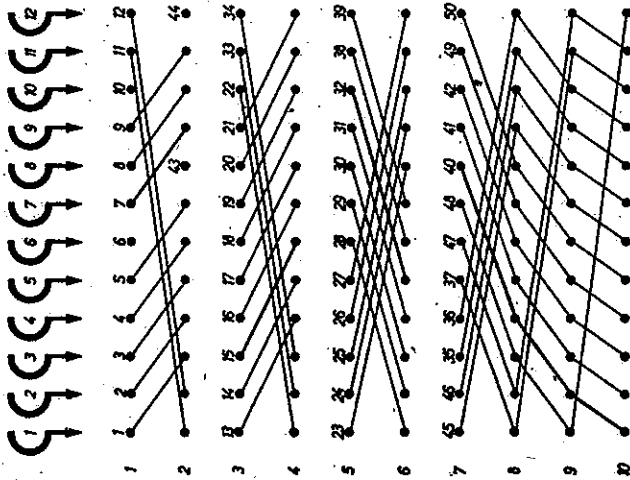
Rys. 18. Przykład przemieszania standardowego wg S i H /12 grup składowych, 42 łączy wychodzące, dostępność  $k = 10$ /

tłumiennosc przesłuchu. Sposób i kolejność wykonywania tych dodatkowych połączeń dla wszystkich występujących w praktyce przypadków podane są w odpowiednich tabelach wzorcowych.

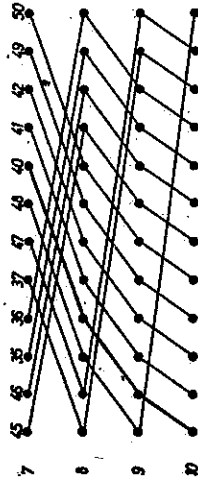
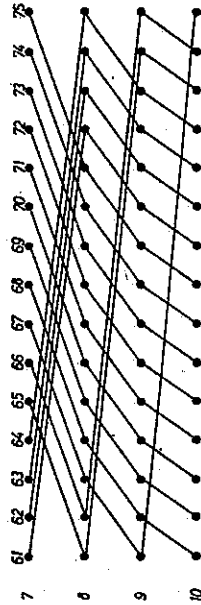
Jeżeli pokazane na rys. 17 wielokrotnie złożone ma zostać powiększone o dwie nowe grupy składowe wielokrociami, to powstanie nowy układ zwielokrotnień pokazany na rys. 18. Wskutek trochę większego obecnie ilorazu wielokrociami (ilość łączy wychodzących pozostała niezmienną) należy usunąć 17 połączeń zwielokrotniających i 6 połączeń wychodzących. Natomiast należy wykonać 43 nowe połączenia. Oznacza to, że należy wykonać 66 zmian. W stosunku do tzw. minimalnego nakładu pracy potrzebnej do wykonania zmian, oznacza to wzrost nakładu o 230% (dla porównania: podobne zmiany w wielokrociach typu BPO i typu szwedzkiego dają wzrost nakładu o 220%). Rozpatrzone zostanie teraz przykład rozbudowy wielokrociami z rys. 18 o 8 nowych łączy wychodzących. Wielokrociami po tej rozbudowie pokazane jest na rys. 19. Jak widać z powyższych rysunków, tylko 8 połączeń zostało zastąpionych przez 8 nowych połączeń. Zostało więc wykonanych 16 zmian w połączeniach wielokrociami. Przy zmianach tego rodzaju trzeba, stosując przemieszanie standardowe, wykonać tylko tzw. minimalny nakład pracy (dla porównania: w wielokrociach typu BPO, minimalny nakład pracy w podanym przykładzie został przekroczony o 50%, a w wielokrociach typu szwedzkiego o 163%). Jako dalszy przykład zastosowania przemieszania standardowego zostanie jeszcze rozpatrzone wielokrociami złożone z nieparzystej ilości grup składowych wielokrociami (rys. 20).



Rys. 20. Przykład przemieszenia standardowego wg S i H /15 grup składowych, 75 łączy wychodzących, dostępność  $k = 10$



Rys. 19. Przykład przemieszenia standardowego wg S i H /12 grup składowych, 50 łączy wychodzących, dostępność  $k = 10$



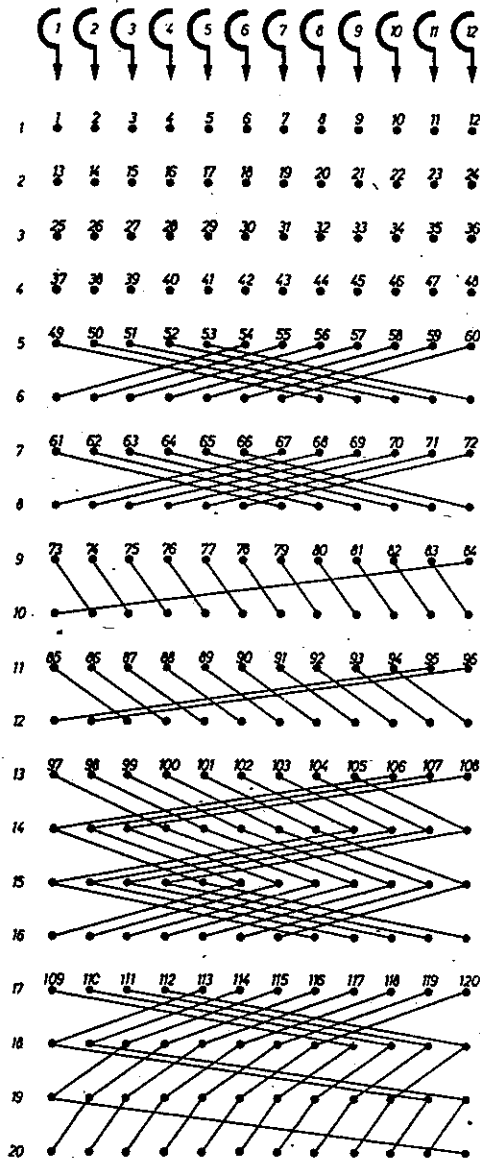
Iloraz wielokrocza wynosi w tym wypadku dokładnie 2. (15 grup składowych wielokrocza pomnożone przez dostępność  $k = 10$  i podzielone przez 75 łączy wychodzących:  $\frac{15 \cdot 10}{75} = 2$ ). Także to wielokrocze jest zbudowane z takich samych połączeń przechwytyjących, jakie stosowane były w trzech poprzednio opisanych wielokrociach.

Jest zrozumiałe, że nie przy wszystkich wielkościach wielokroci - w odniesieniu do ilości grup składowych wielokrocza - ukośne połączenia przechwytyjące mogą być takie same. Dużą rolę przy budowie wielokrocza odgrywa bowiem także wymaganie dobrego rozdziału zajętości.

Na rysunku 21 pokazane jest wielokrocze, składające się z 12 grup składowych wielokrocza o dostępności  $k = 20$  i 120 łączach wychodzących. W porównaniu z wielokrociami pokazanymi na rysunkach od 17 do 20, widać, że ukośne połączenia przechwytyjące na pozycjach pola wybieraków o numerach od 11 do 20 są takie same, jak w wielokrociach o dostępności  $k = 10$ . Wielokrocza złożone mogą być więc rozbudowywane także pod względem dostępności pola wybieraków, bez konieczności gruntownej zmiany w każdym przypadku istniejących połączeń zwielokrotniających.

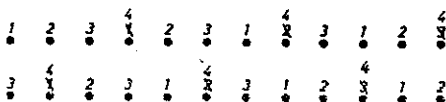
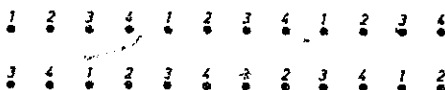
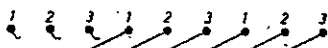
## 6. PODZIAŁ WIĄZKI ŁĄCZY WYCHODZĄCYCH Z WIELOKROCZA ZŁOŻONEGO

Oprócz właściwego zwielokrotniania - łączenia między sobą poszczególnych wyjść z grup składowych wielokrocza - zostały także ustalone zasady, w jaki sposób dokonywać



Rys. 21. Przykład przemieszania standardowego wg S i H /12 grup składowych, 120 łączy wychodzących, dostępność  $k = 20$

podziału wybieraków w poszczególnych grupach jednostkowych połączonych z wielokrociem, zbudowanym według zasad mieszania standardowego. Przy tym podziale uwzględniono zjawisko, że ruch telefoniczny, załatwiany przez poszczególne wyjścia grupy składowej wielokrocza maleje wraz ze wzrostem numeru wyjścia (na rysunkach wielokroci z góry do dołu). Aby uzyskać równomierne obciążenie grupy jednostkowej wybieraków następnego stopnia komutacyjnego, należy na wyjścia z poszczególnych grup składowych wielokrocza rozdzielić równomiernie wybieraki z



Rys. 22. Rozdział wybieraków grup jednostkowych na poszczególne wyjścia z wielokrocza, wg standardu S i H /przykłady/

wszystkich grup następnego stopnia łączenia. Rozdział ten przewidziany jest w kolejności cyklicznej (rys. 22 u góry). Cyfry oznaczają poszczególne grupy jednostkowe wybieraków następnego stopnia łączenia.

Aby zapewnić dostępność do różnych grup jednostkowych wybieraków z różnych grup składowych wielokrocza złożo-

nego, podana kolejność cyfrowa jest w stosunku do następujących po sobie pozycjach wybierania w polu wielokrotnym wzajemnie przestawiona (rys. 22 w środku).

W przypadku gdy zajdzie potrzeba zwiększenia ilości grup jednostkowych wybieraków następnego stopnia komutacyjnego w stosunku do rozpatrywanego wielokrocia złożonego, łącza do nowo dochodzących grup jednostkowych wtrącone zostaną w istniejący układ połączeń wg odpowiedniego rytmu (rys. 22 u dołu). Wypadające przy tym zabiegu łącza zostają włączane w odpowiedni sposób na nowo powstające pozycje wyjściowe wielokrocia.

Wszystkie pozostałe połączenia nie ulegają żadnym zmianom.

Podane przykłady zwielokrotnień zamieszczone zostały w celu wyjaśnienia w podstawowych zarysach systematyki budowy przemieszanych wielokroci standardowych. Wspomniane w artykule porównania wydajności różnych typów wielokroci zostaną w późniejszym czasie potwierdzone opublikowaniem wyników testów obliczeniowych.

#### WYKAZ LITERATURY

1. Wendt A.: Die effektive Erreichbarkeit, eine Größe zur Beurteilung der Güte von Mischungen. Entwicklungsberichte Siemens i Halske AG 24. 1961, s. 417-420.
2. Langer M.: Studien über Aufgaben der Fernsprechtechnik Verlag R. Oldenbourg, München i Berlin 1936.

3. Langer M.: Berechnung der Wählerzahl in selbsttätigen Fernsprechämtern. Erweiterter Sonderdruck aus Elektrotechn. Z. 45. 1924, nr 11.
4. Lubberger F.: Die Wirtschaftlichkeit der Fernsprechanlagen. Verlag R. Oldenbourg München i Berlin 1933.
5. Wilkinson R.I.: The Interconnection of Telephone System-Graded Multiples. Bell Syst. Techn. J. 1931, nr 10, s. 531-565.
6. O'Dell G.F.: Outline of the Trunking Aspect of Automatic Telephony. J. Instn. electr. Eng. 1927, nr 65, s. 185-222.
7. Kuntze W.: Die Einschränkung als Mass der Betriebsgüte unvollkommener Bündel. Nachr.-Techn. 1956, nr 6, s. 258-265.
8. Einarsson K.A., Hakansson L., Lundgren B., Tange J.: Simplified Type of Gradings with Skipping. Tele. 1961, s. 74-96.
9. Longley H.A.: The Efficiency of Gradings. Post Off. electr. Eng. J. 1948, nr 41, s. 45-49 i 67-72.
10. Breischneider G., Wendt A.: Datenverarbeitungsanlagen als Hilfsmittel für Fernsprech und Fernschreib-Verkehrsplanung. Nachrichtentechn. 1961, nr 14, s. 487-492.
11. Kruithof J.: Loss Formulas for Homogeneous Gradings of the Second Order in Telephone Switching Employing Random Hunting. Electr. Commun. 1958, nr 35, s.57-68.



12. Bretschneider G.: Die exakte Bestimmung der Verkehrsleistung kleiner unvollkommener Fernsprechbündel. Nachrichtentechn. 1962, nr 15, 199-205.
  13. Kruithof J.: Rotary Traffic Machine. Electr.Comm. 1946, nr 23, s. 192-211.
  14. Tabellen für Planung und Betrieb von Fernsprechanlagen. Siemens i Halske AG Berlin, München 1961.
-

