

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

REFERATY PROBLEMOWE

Zeszyt 26

Zbigniew Frydrych

O NIEZAWODNOŚCI
SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ



Warszawa - luty 1980

I N S T Y T U T ł ą c z n o ś c i

KOŁO ZAKŁADOWE STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Na prawach rękopisu

R E F E R A T Y P R O B L E M O W E

Zeszyt 26

Zbigniew Frydrych

O NIEZAWODNOŚCI SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

Warszawa - luty 1980

5-8682

Zespół Redakcyjny:

dr inż. Stanisław Sońta, mgr inż. Andrzej Stańkowski,
mgr inż. Maria Tyrowicz

Opracował:

doc. dr inż. Zbigniew Frydrych

Zakład Metod Eksploatacji Urządzeń i Sieci Telekomunikacyjnych /Z-24/

Instytut Łączności, Oddział w Gdańsku

80-252 Gdańsk, ul. Jaśkowa Dolina 8, tel. 41-80-91, w. 32

Praca nr 11.01.B.01 problemu węzłowego 06.2

Opiniował: dr inż. Kornel Wydro

Maszynopis dostarczono dnia 15.11.1980 r.

Artykuł zajmuje się systematyzowaniem problemów oceny niezawodności sieci telekomunikacyjnej powszechnego użytku. Przedstawiono propozycję odrębnego oceniania niezawodności strukturalnej i funkcjonalnej. Dla oceny sieci w warunkach zmiennych stanów sprawnościowych i ruchowych proponuje się stosować ocenę skuteczności działania, która jest uogólnieniem niezawodności funkcjonalnej /która ocenia sieć w warunkach zmiennych stanów sprawnościowych/.

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUOWA

Nr 5-8682

Redaktor: mgr K. Juskiewicz

Montaż tekstu: B. Drabik

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności
dnia 14.III.1980 r.
Nakład 70 egz.

S P I S T R E Ś C I

	Str.
1. Uwagi ogólne	1
2. niezawodność strukturalna	4
3. niezawodność kanałowa	10
4. niezawodność funkcjonalna	14
5. Skuteczność działania sieci	19
Wykaz literatury	24

Errata

do artykułu Zbigniewa Frydrycha "O niezawodności sieci telekomuni-
kacyjnej"

Referaty Problemowe, zeszyt 26

1. Str. 5, trzeci wiersz od dołu - po słowie "będzie" dodać "uśrednienie"
2. Str. 8, dwunasty wiersz od dołu - po słowie "będą" dodać "to"
3. Str. 10, trzynasty wiersz od dołu - zamiast "podstawowych" powinno być "roboczych"
4. Str. 13, dziewiąty wiersz od góry - wzór w tym wierszu należy wykreślić
5. Str. 13, jedenasty wiersz od góry - zamiast "m" pod znakiem czwartej i piątej sigmy winno być "n"
6. Str. 15, pierwszy wiersz od góry - po słowie "zależności" dodać "od" oraz zamiast "przyjętych" powinno być "przyjętej"
7. Str. 15, trzeci wiersz od dołu - po słowie "być" dodać "bowiem"
8. Str. 16, piąty wiersz od dołu - zamiast "wymagania jakościowego" powinno być "wymaganie jakościowe"
9. Str. 17, dziesiąty wiersz od góry - zamiast " $c_i < c_n$ " powinno być $c_i \leq c_n$
10. Str. 22, pierwszy wiersz od góry - zamiast " $u/g, A$ " w wzorze //7/ powinno być " $u/g, A$ ".

O NIEZAWODNOŚCI SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

1. UWAGI OGÓLNE

Ogólna definicja niezawodności, przyjęta w teorii niezawodności, określa niezawodność obiektu jako właściwość /ściślej - jako zespół cech, z których najważniejszymi są: bezawaryjność, odnawialność i trwałość/ decydującą o wykonaniu wyznaczonych działań w określonym czasie i w określonych warunkach eksploatacji.

Z tej definicji wynika konieczność jednoznacznego określania dla każdego rozpatrywanego obiektu:

- działania, które obiekt powinien wykonać /określenie celu/,
- czasu, w którym działanie powinno być wykonywane,
- warunków eksploatacji.

Określenia te są zwykle precyzowane /lub powinny być podawane/ przez użytkownika obiektu w Wymaganiach Techniczno-Exploatacyjnych, stanowiących podstawę do zaprojektowania i wyprodukowania.

Z określeniem stanu działania obiektu ściśle związane jest określenie stanu niedziałania, w którym obiekt nie jest zdolny do wykonywania wyznaczonego zadania. Zdarzenie polegające na przejściu obiektu ze stanu działania /stanu sprawności/ do stanu niedziałania /stanu niesprawności/ nazywa się uszkodzeniem. Zespół objawów charakteryzujących uszkodzenie obiektu nazywa się zwykle kryterium uszkodzenia. Właściwe sformułowanie kryterium uszkodzenia jest najistotniejszą sprawą, warunkującą analizę niezawodności obiektu.

Przy formułowaniu objawów uszkodzenia są pomocne następujące pojęcia:

obiekt - wyrób stanowiący konstrukcyjną całość i zdolny do samodzielnego wykonywania wyznaczonych działań techniczno-użytkowych /funkcjonalna całość/. "Konstrukcyjna całość" i "funkcjonalna całość" są pojęciami umownymi i zależą od aktualnie rozpatrywanego poziomu rozcłonkowania. Części składowe rozpatrywanego poziomu rozcłonkowania nazywa się elementami obiektu.

parametr wiodący - mierzalny parametr obiektu, wartość którego pozwala na

stwierdzenie, czy obiekt znajduje się w stanie sprawności czy niesprawności;

tolerancja parametru - przedział dopuszczalnych zmian wartości parametru /zmian w czasie/, przy których przyjmuje się, że obiekt znajduje się w stanie sprawności;

sprawność /zdatność/ do pracy - stan obiektu, w którym wartości wszystkich parametrów wiodących znajdują się w granicach tolerancji;

uszkodzenie - zdarzenie polegające na tym, że co najmniej jeden z parametrów wiodących przekroczył granice tolerancji.

Formułowanie kryterium uszkodzenia nie sprawia trudności w przypadku obiektów prostych. Natomiast sprawa komplikuje się przy innych obiektach: wieloelementowych, o złożonej strukturze, z redundancją, wielofunkcyjnych czy obiektach z wieloma wejściami i wyjściami. Takie złożone obiekty praktycznie nigdy nie znajdują się w stanie, w którym nastąpi całkowita utrata zdolności do wykonywania wyznaczonego zadania przez wszystkie istotne elementy obiektu - stan taki można nazwać uszkodzeniem pełnym lub całkowitym. Dla złożonych obiektów jednak z różnych względów wygodnie jest wprowadzić pojęcie uszkodzenia umownego /uszkodzenia częściowego/. Umowność stanu niezdolności do wykonywania wyznaczonego zadania polega na tym, że obiekt traktuje się jako uszkodzony, mimo iż w rzeczywistości częściowo wykonuje swe zadania dalej. Pojęcie "częściowo" oznaczać może wykonywanie zadań, na przykład: wolniej, w zmniejszonym wymiarze, z obniżoną dokładnością, przy mniejszych udogodnieniach /komforcie/ dla użytkownika itp.

Taka sama sytuacja zachodzi także dla obiektów tracących zdolność do wykonywania wyznaczonych działań stopniowo, na przykład: na skutek zużycia, rozregulowania lub starzenia. W takich przypadkach nawet dla obiektów bardzo prostych konieczne jest definiowanie kryterium uszkodzenia za pomocą umownie określonych granic tolerancji dla parametru wiodącego.

Normowanie kryterium umownego uszkodzenia będzie obiektywnym jedynie w tych przypadkach, kiedy analizowany obiekt stanowi część większego kompleksu /technicznego lub ekonomicznego/, co umożliwi powiązanie ilościowych miar wykonywanych przez obiekt działań z określonymi zależnościami "strat i zysków" wyznaczonymi funkcjami celu systemu nadrzędnego. Jako oczywisty przykład takiego postępowania może służyć przeprowadzenie analizy wrażliwości układu elektronicznego na zmiany parametrów elementów, kiedy np. za pomocą funkcji przenoszenia układu można wyznaczyć granice tole-

rancji wartości parametrów elementów składowych.

W innych przypadkach, kiedy nie uda się sformalizować układu nadrzędnego lub kiedy nie można określić liczbowo funkcji "strat i zysków", kryteria uszkodzenia muszą być ustalane subiektywnie. W celu zmniejszenia marginesu błędu można przy tym wykorzystywać doświadczenia nabyte w trakcie eksploatacji podobnych obiektów, wyniki badań eksperymentalnych prowadzonych drogą prób i kolejnych uściśleń, uśrednione wyniki badań ankietowych itp.

Przy określaniu kryterium umownego uszkodzenia może być pomocne odpowiednie uściślenie /rozbudowanie/ funkcji celu rozpatrywanego obiektu. Przy takim uściśleniu można mówić o podstawowym celu /jądrze funkcji celu/ i o gałęziach tej funkcji. Gałęziami funkcji celu będą wszelkie dodatkowe określenia uściślające wymagania stawiane przed obiektem, w szczególności w zakresie jakości wykonywania podstawowego działania.

Sieć telekomunikacyjna powszechnego użytku jest obiektem składającym się z bardzo wielu elementów składowych, o złożonej strukturze, posiadającym wiele wejść i wyjść. Podstawowym celem sieci jest oczywiście pełnienie usług polegających na realizacji zbioru zamówień na przesłanie wiadomości /lub na udostępnienie kanału umożliwiającego przesłanie wiadomości/ składowanych przez określony zbiór użytkowników. Takie sformułowanie celu nie pozwala na określenie przydatnego praktycznie kryterium uszkodzenia sieci telekomunikacyjnej. Nie można tu bowiem wykorzystać pojęcia uszkodzenia całkowitego, pod którym rozumieć należy utratę zdolności do przesłania jakiegokolwiek wiadomości pomiędzy jakąkolwiek parą użytkowników, gdyż taka sytuacja praktycznie nigdy nie wystąpi.

Dla umożliwienia określenia stanu /lub stanów/ uszkodzenia częściowego niezbędne jest zatem podanie gałęzi funkcji celu, przedstawiających wymagania dodatkowe, jakim sieć telekomunikacyjna powinna odpowiadać w warunkach przyjętych zasad użytkowania. Oto przykład sformułowań takich dodatkowych wymagań:

- sieć powinna być zdolna do przesyłania wiadomości co najmniej w ustalonej liczbie relacji /między parami węzłów sieci/;
- sieć powinna być zdolna do przesyłania wiadomości w określonej relacji, przy użyciu co najmniej ustalonej liczby kanałów /łączy/;
- w przypadkach konieczności dokonywania wyboru kolejności przesyłania wiadomości powinien być uwzględniony określony zespół priorytetów, dotyczących rodzaju wiadomości oraz ważności użytkowników,

- przy realizacji zamówień na przesyłanie wiadomości powinien być spełniony warunek nieprzekroczenia zadanego kosztu przesyłania; koszt można przy tym rozumieć w różny sposób, np. jako liczbę tranzytów wiadomości.

Równocześnie muszą zostać określone warunki, w jakich sieć powinna wykonywać swoje zadania. Należą do nich, na przykład Informacje o:

- niezawodności węzłów i gałęzi sieci /central komutacyjnych i łączy międzycentralowych/,
- przepustowości węzłów i gałęzi sieci /limitujące liczbę jednocześnie przesyłanych wiadomości/,
- możliwościach odnawiania niesprawnych węzłów i gałęzi /określające czas orzebywania uszkodzonych elementów w stanie przestoju/,
- czasie przestrajania przy dostosowaniu konfiguracji sieci z ograniczonymi /na skutek uszkodzeń/ możliwościami łączeniowymi do aktualnego zbioru zapotrzebowań /czas działania systemu sterowania użytkowaniem sieci/.

Dla precyzyjniejszego wyrażenia różnic w interpretacji ocen niezawodności, wynikających z przyjęcia określonej funkcji celu, celowe jest rozróżnienie dwóch pojęć:

- niezawodności strukturalnej, obejmującej również niezawodność kanałową,
- niezawodności funkcjonalnej.

2. NIEZAWODNOŚĆ STRUKTURALNA

Niezawodność strukturalna sieci jest charakterystyką sieci przedstawiającą techniczny stan sieci wynikający bezpośrednio ze struktury sieci i niezawodności jej elementów. Ponieważ strumienie uszkodzeń i odnów urządzeń, z których sieć jest zestawiona, zależą od działania systemu utrzymywania sieci w stanie sprawności, to niezawodność strukturalna służyć może nie tylko do oceny samej sieci /jej struktury/, ale także do oceny działania służb utrzymaniowych.

Niezawodność strukturalną można zdefiniować w następujący sposób: jest to właściwość sieci decydująca o utrzymywaniu ciągłości wykonywania wyznaczonych usług, w określonym czasie i w określonych warunkach eksploatacji.

Badanie niezawodności strukturalnej sieci ma na celu ocenę sieci pod kątem spełniania podstawowego celu sieci, tzn. możliwości przesłania wiadomości pomiędzy parami węzłów, natomiast nie są istotne dodatkowe wymagania

jakościowe. Inaczej mówiąc, pytamy się: czy może być dokonywana wymiana wiadomości między węzłami, czy też łączność między nimi jest przerwana? Nieistotna jest natomiast informacja, iloma kanałami jednocześnie może być taka łączność prowadzona. Stąd kryterium uszkodzenia jest bardzo proste: przerwanie łączności między węzłami sieci, między którymi rozpatrywana jest możliwość wymiany wiadomości. Ponieważ w sieci można rozpatrywać wiele takich par węzłów /ogólnie $\frac{N(N-1)}{2}$, gdzie N - liczba węzłów sieci/, to obliczenia należy przeprowadzić dla każdej pary oddzielnie.

W sieci powszechnego użytku liczba par węzłów, między którymi może być prowadzona wymiana wiadomości, jest zwykle ograniczona przyjętą dla tej sieci organizacją łączności. Również wprowadzane są inne ograniczenia, np. na liczbę tras, które mogą być wykorzystywane do tworzenia dróg połączeniowych /dróg przesyłania wiadomości/ w poszczególnych relacjach, na długość tych dróg, wyrażaną liczbą węzłów tranzytowania wiadomości czy liczbą gałęzi sieci, które mogą maksymalnie wchodzić w zestaw drogi itp. Ograniczenia tego typu sprawiają, że przy analizie niezawodności każdej dopuszczalnej pary węzłów /każdej relacji/ wystarczy rozpatrywać część sieci, zawierającą tylko te węzły i gałęzie, które będą wykorzystywane przy zestawianiu dróg połączeniowych tej relacji. Taką częściową sieć będziemy nazywać siecią końcówkową relacji /lub krótko - siecią relacji/. W sieci relacji wyróżnione są dwa węzły końcowe danej relacji, między którymi jest analizowana zdolność do wymiany wiadomości. Jest to zatem sieć dwójnikowa, a jej niezawodność strukturalną można nazywać niezawodnością dwójnikową lub końcówkową /ang. terminal reliability/ czy po prostu niezawodnością relacji.

Z powyższego wynika, że ocena niezawodności strukturalnej sieci wyraża się zbiorem ocen niezawodności końcówkowych wyznaczonych dla wszystkich dopuszczonych relacji.

Wykonując określone operacje na zbiorze ocen niezawodności końcówkowych można następnie uzyskać globalną ocenę sieci. Takim operatorem najczęściej będzie:

$$R_g = \frac{\sum_i w_i R_i}{\sum_i w_i}$$

lub wyznaczenie wartości ekstremalnej /minimalnej lub maksymalnej/

$$R_g = \min_i / \max_i \{ R_i \}$$

gdzie: R_g - oznacza wskaźnik globalnej niezawodności strukturalnej sieci,
 R_i - wskaźnik niezawodności końcówkowej i-tej relacji, w_i - współczynnik wagi relacji i-tej relacji.

Współczynniki wagowe używa się w przypadkach, kiedy należy uwzględnić ważność /priorytety/ poszczególnych relacji danej sieci.

Ponieważ:

- niezawodność końcówkowa ma służyć do oceny sieci, której elementy składowe podlegają uszkodzeniom i odnowom,
- ocena ma być prowadzona pod kątem możliwości przesyłania wiadomości w ciągu przedziału czasu dostatecznie długiego dla przesłania wielu wiadomości /a nie z punktu widzenia przesłania jednej wiadomości/,
- przy ocenie rozróżnia się tylko dwa stany: sprawności i niesprawności /może być lub nie może być prowadzona wymiana wiadomości/.

to najwłaściwszym wskaźnikiem tej niezawodności będzie współczynnik gotowości, który daje łączną ocenę bezawaryjności i odnawialności obiektu dwustanowego za dostatecznie długi okres eksploatacji.

Współczynnik gotowości /oznaczany zwykle symbolami K_g lub A / jest statystycznie definiowany w następujący sposób:

$$K_g = \frac{\sum t_i}{\sum t_i + \sum t_{0i}} = \frac{\sum t_i}{T_e}$$

gdzie: $\sum t_i$ oraz $\sum t_{0i}$ oznaczają sumaryczne czasy przebywania obiektu w stanie sprawności i niesprawności, odpowiednio, zaobserwowane w dostatecznie długim przedziale obserwacji T_e . Współczynnik gotowości określa prawdopodobieństwo, że w dowolnie wybranej chwili rozpatrywanego przedziału czasu /w stanie ustalonym procesu uszkodzeń i odnow/ obiekt będzie się znajdował w stanie sprawności bądź też przeciętną część rozpatrywanego przedziału czasu /udział czasu jednostkowego/, w którym obiekt będzie zdolny do działania.

Użyteczny może być również wskaźnik h , tzw. parametr stacjonarnego pro-

cesu Poissona, opisującego proces uszkodzeń i odnow obiektu w stanie ustalonym

$$h = \frac{n/T_e}{T_e}$$

gdzie: n/T_e /oznacza liczbę uszkodzeń /lub odnow/ zaobserwowaną w czasie T_e Wskaźnik h można interpretować jako średnią liczbę uszkodzeń /lub odnow/ przypadającą na jednostkę czasu.

Oczywiście korzystać można również z podstawowych wskaźników niezawodności: średniego czasu sprawności T /przeciętny czas przebywania obiektu w stanie sprawności między kolejnymi niesprawnościami - MTBF / i średniego czasu odnawiania T_o /przeciętny czas przywracania uszkodzonego obiektu do stanu sprawności - MTTR/:

$$T = \frac{\sum t_i}{n/T_e}$$

$$T_o = \frac{\sum t_{oi}}{n/T_e}$$

Pomiędzy wymienionymi wskaźnikami występują następujące zależności:

$$K_g = \frac{T}{T + T_o}$$

i

$$h = \frac{1}{T + T_o}$$

oraz

$$T = \frac{K_g}{h}$$

i

$$T_o = \frac{1 - K_g}{h}$$

Niezawodność obiektu związana jest z niezawodnością jego elementów. Najbardziej ogólną metodą obliczania wskaźników niezawodności jest metoda przeglądu stanów sprawnościowych obiektu. Jeżeli obiekt zestawiony jest z n elementów niezawodnościowych, wzajemnie niezależnych, to przebywać może ogółem w 2^n stanach. Każdy stan można zapisać w postaci wektora o n składowych a_i , $i = \overline{1, n}$. Parametr a_i przyjmuje dwie wartości:

$$a_i = \begin{cases} 1 & \text{gdy } i\text{-ty element jest sprawny,} \\ 0 & \text{gdy } i\text{-ty element jest niesprawny.} \end{cases}$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia stanu g_j , opisanego ciągiem parametrów a_i , jest równe

$$P/g_j/ = \prod_{i=1}^n [a_i p_i + (1-a_i)(1-p_i)]$$

w którym p_i oznacza współczynnik gotowości i -tego elementu.

Zbiór 2^n stanów sprawnościowych obiektu można rozdzielić na dwa rozłączne podzbiory G^+ i G^- . Podzbiór G^+ grupuje wszystkie stany, w których obiekt jest sprawny, G^- - podzbiór stanów niesprawnych. Analizą niezawodnościowa sprowadza się zatem do kwalifikowania poszczególnych stanów do odpowiedniego podzbiory.

Współczynnik gotowości będzie wówczas wyrażał się wzorem

$$K_g = \sum_{g_j \in G^+} P/g_j / \quad /2/$$

Parametr h , zgodnie z definicją, przedstawia przeciętną liczbę przejść /w jednostce czasu/ z podzbiory G^+ do podzbiory G^- . Zakładając, że jednostka czasu jest tak mała, iż może w niej zmienić swój stan tylko jeden element /uszkodzić się lub zostać odnowionym/, to nie z każdego stanu $g_j \in G^+$ obiekt może przejść do stanu należącego do G^- . Użytecznym jest tu pojęcie stanu sąsiedzkiego [1]. Dwa stany nazywa się sąsiedzkimi, jeżeli ich wektory różnią się wartością jednej tylko składowej a_i . Zatem każdy stan posiada n stanów sąsiedzkich.

Jeżeli oznaczyć $\lambda_i = \frac{1}{T_i}$, T_i - średni czas sprawności i -tego elementu, to przeciętna liczba przejść w jednostce czasu ze stanu g_j do stanu sąsiedzkiego, wywołana uszkodzeniami i -tego elementu, będzie równa $P/g_j / \lambda_i$.

W zbiorze G^+ można wydzielić podzbiór stanów g^+ , grupujący stany, z których w jednostkowym czasie można przejść do zbioru G^- , będą oczywiście te stany $g_j \in G^+$, których co najmniej jeden ze stanów sąsiedzkich należy do G^- . Dla każdego $g_j \in G^+$ wyznaczyć można zbiór indeksów $j/i/$. Zbiór $j/i/$ jest to zbiór indeksów "i" składowych a_i wektora stanu g_j , mających tę własność, że zamiana $a_i = 1$ na $a_i = 0$ powoduje przejście obiektu do stanu niesprawności /do stanu należącego do zbioru $G^-/$.

Przy tych oznaczeniach parametr h można obliczyć ze wzoru

$$h = \sum_{g_j \in G^+} \left[\frac{P/g_j}{\sum_{i \in j/i/} \lambda_i} \right] \quad /3/$$

tzn. wartość parametru h wyznacza się przez zsumowanie przeciętnej liczby przejść, w jednostce czasu, ze wszystkich stanów podzbiory g^+ do zbioru G^- .

Reasumując, metoda przeglądu stanów sprawnościowych może być zapisana w postaci następującego algorytmu:

1. Wybrać dowolny, nierozpatrzone dotychczas stan g_j , przedstawiony wektorem $\{a_i\}$.
2. Zbadać, czy stan g_j należy do stanu G^+ . Jeżeli $g_j \in G^-$ - przejść do p.6.
3. Wyznaczyć prawdopodobieństwo $P/g_j/$ przy użyciu wzoru /1/.
4. Zbadać, czy stan g_j należy do podzbioru g^+ . Jeżeli g_j nie należy do g^+ - przejść do p. 6.
5. Wyznaczyć zbiór indeksów $j/i/$.
6. Jeżeli pozostały jeszcze nierozpatrzone stany sprawnościowe - wrócić do p. 1.
7. Obliczyć wskaźnik K_g , wg wzoru /2/ i h , wg wzoru /3/, oraz T i T_0 .

Jeżeli analiza niezawodności ma się ograniczać jedynie do obliczenia współczynnika gotowości, to można posłużyć się metodami prostszymi [2]. Do takich metod należy m.in. metoda układów blokowych, stosowana w niezawodnościowym układzie szeregowo-równoległym wraz ze sposobami sprowadzania rzeczywistego układu połączeń do postaci szeregowo-równoległej, a także metoda przekrojów /zbiorów rozcinających/ czy metoda dróg połączeniowych.

Należy także zaznaczyć, że dla pewnych rodzajów sieci jest możliwe bezpośrednio wyznaczenie globalnej niezawodności strukturalnej bez konieczności obliczania niezawodności końcówkowych. Dotyczy to sieci z absolutnie niezawodnymi węzłami, z gałęziami charakteryzującymi się jednakową niezawodnością i w których dopuszczone są wszystkie relacje. Dla takich sieci współczynnik gotowości globalnej wyraża się np. następującym wzorem:

$$K_g = \sum_{k=N-1}^M A_k p_e^k / 1-p_e /^{M-k}$$

gdzie: p_e oznacza współczynnik gotowości gałęzi sieci, N - licznosc zbioru węzłów, M - licznosc zbioru gałęzi, A_k - liczbę spójnych podgrafów grafu sieci z N węzłami i k gałęziami.

W literaturze dotyczącej niezawodności sieci [np. 3] spotkać można również inne definicje sprawności sieci, np. sieć jest sprawna, jeżeli liczba dowolnych węzłów wzajemnie komunikujących się przewyższa określony próg. Przy tej definicji wskaźnikiem globalnym niezawodności strukturalnej będzie liczba \bar{N} - średnia liczba węzłów w największym składniku grafu. Z braku e-

fektywnych metod analitycznych dla grafów nietrywialno prostych wartość \bar{N} trzeba obliczać metodami symulacyjnymi. Ta i inne, podobne definicje sprawności sieci powstały w związku ze specjalnymi wymaganiami stawianymi na działanie sieci i ich przydatność dla telekomunikacyjnej sieci powszechnego użytku jest praktycznie żadna.

3. NIEZAWODNOŚĆ KANAŁOWA

Na odrębne opisanie zasługuje analiza niezawodności strukturalnej układów ze wspólną rezerwą. Niezawodność takich układów zależy nie tylko od samej struktury, ale również od organizacji rezerwowania. Chodzi tu o tzw. niezawodność kanałową, to znaczy niezawodność dowolnego udzielenia wziętego elementu roboczego, z uwzględnieniem że przy przebywaniu w stanie niesprawności może być on zastępowany przez jeden z elementów wspólnej rezerwy. Analizując niezawodność kanałową w szczególności należy zwrócić uwagę na trzy sprawy:

- jakie są reguły zastępowania uszkodzonego elementu roboczego przez element rezerwowy?,
- jakie są możliwości naprawcze systemu odnawiania?,
- jaka jest procedura postępowania z elementami po odnowieniu?.

W układzie składającym się z k elementów roboczych i $n-k$ elementów rezerwowych, zdolnych do zastępowania każdego z elementów roboczych, w przypadku wystąpienia stanu, w którym liczba sprawnych elementów rezerwowych jest mniejsza od liczby niesprawnych elementów podstawowych pojawia się problem, któremu z uszkodzonych elementów roboczych przydzielić element rezerwowy.

Mogą tu występować trzy reguły postępowania:

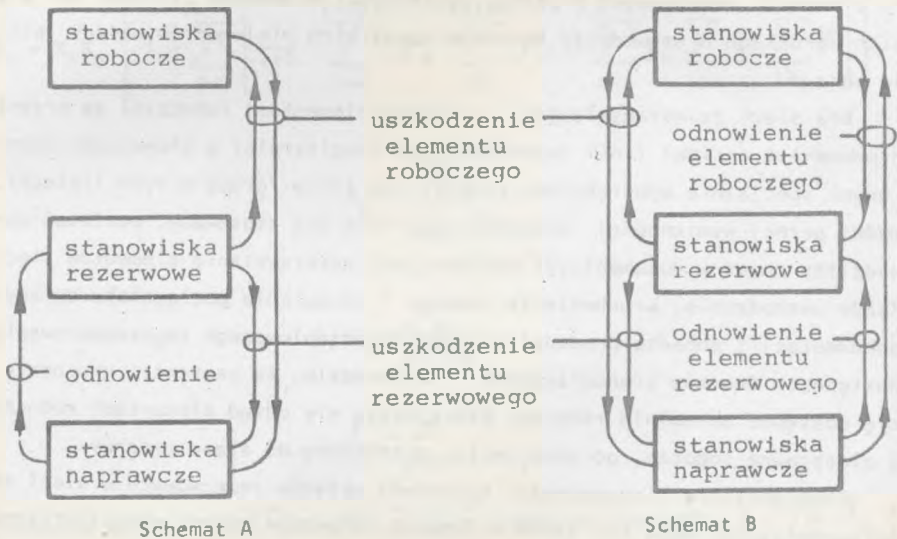
- kolejnościowe, w których uszkodzonym elementom roboczym przydziela się elementy rezerwowe w kolejności uszkodzenia; jeżeli zapas elementów rezerwowych został wyczerpany - elementów nie przydziela się, a dokonanych już przydziałów nie zmienia się;
- losowe, w których przy wystąpieniu każdego stanu sprawnościowego /charakteryzującego się określoną liczbą niesprawnych elementów roboczych/ dokonuje się losowego przydziału sprawnych w danej chwili elementów rezerwowych; czynność tę oczywiście wystarczy wykonywać tylko wówczas, gdy dysponowanych elementów rezerwowych jest mniej niż niesprawnych ele-

mentów roboczych, w pozostałych przypadkach przydział następuje w systemie kolejnościowym;

- priorytetowe, w których przy każdej zmianie stanu sprawnościowego zostaje dokonywany ponowny rozdział elementów rezerwowych z uwzględnieniem ustalonych wstępnie priorytetów, dotyczących kolejności przydzielania rezerw.

Możliwości naprawcze systemu odnawiania /utrzymywania urządzeń w stanie sprawności/ wyrażają się liczbą odnow, które jednocześnie mogą być wykonywane /liczbą aparatów obsługi, brygad konserwacji itp./. Oto skrajne przypadki: dostępny jest tylko jeden aparat obsługi i przy jego zajętości inne niesprawne elementy muszą oczekiwać w kolejce oraz dostępnych jest n aparatów obsługi /nieograniczone możliwości naprawcze/, co umożliwia natychmiastowe rozpoczęcie odnowy każdego uszkodzonego elementu.

Odnośnie postępowania z elementami odnowionymi można wspomnieć o dwóch procedurach, schematycznie pokazanych na poniższym rysunku.



Rys. 1. Schematy procedur postępowania dla układów ze wspólną rezerwą

1. Schemat A przedstawia przypadek pełnej wymienności funkcjonalnej elementów układu ze wspólną rezerwą, w którym każdy element naprawiony, bez względu na to, gdzie znajdował się w chwili uszkodzenia - na stanowisku roboczym czy rezerwowym - jest umieszczany na stanowisku elementów re-

zerwowych, skąd będzie pobrany dla zastąpienia któregoś z elementów roboczych, kiedy ten uszkodzi się.

2. Schemat B przedstawia układ, w którym wprowadzono stały podział na elementy robocze i rezerwowe, w związku z czym każdy element po użyciu lub odnowieniu wraca na stałe swoje stanowisko.

Ogólna metodyka obliczania niezawodności kanałowej układów ze wspólną rezerwą nie została dotychczas opracowana. Występują tu bowiem trudności, zarówno techniczne /konieczność wykonywania złożonych i pracochłonnych obliczeń/ jak i metodologiczne /wprowadzenie modelu zdarzeń zależnych, ze zmianami stanów uwzględniającymi kolejność uszkodzania się elementów układu/.

W literaturze spotyka się dlatego przykłady obliczeń prowadzonych przy założeniu, określonych założeń upraszczających. I tak na przykład: w [4,5] są podane wzory obliczeniowe dla modelu układu z k roboczymi i $n-k$ rezerwowymi elementami przy założeniu losowego, równoprawdopodobnego przydziału elementów rezerwowych i pełnej wymienności elementów /schemat A/. W takich warunkach niezawodność kanałowa wszystkich n elementów układu jest taka sama.

Dla sieci teletransmisyjnej, w której elementami roboczymi są przęsła grupowe lub odcinki linii transmisyjnych /magistrale/ a elementami rezerwowymi specjalnie wyodrębnione przęsła lub linie /grupy w tych liniach/, model pełnej wymienności elementów nie może być stosowany, ponieważ wprowadziłby chaos w dokumentacji ewidencyjnej wykorzystania elementów sieci. Każde uszkodzenie, uruchomienie rezerwy i odnowienie pociągałoby zmiany w dokumentacji; ponadto prowadziłoby do niekontrolowanego zagospodarowania dostępnych środków transmisyjnych - na zasadzie, że zastępczo uruchamia się dostępne aktualnie rezerwy, które stają się odtąd elementami roboczymi, a niesprawne robocze, po odnowieniu, przechodzą do stanu rezerwy.

Przy analizie niezawodności kanałowej układów rezerwowych w sieci teletransmisyjnej mogą być zatem stosowane wyłącznie metody wykorzystujące schemat B, ze stałym przyporządkowaniem elementów.

Do badania takich układów zaproponowano w [6] nową metodę opartą na wprowadzonym, tzw. grafie rezerwowania, w którym różne możliwości stosowania rezerwowych elementów opisywane są tak zwanym strumieniem rezerwowania. Model ten pozwala obliczać współczynnik gotowości i inne wskaźniki dla wszystkich elementów układu.

Jeżeli interesuje nas wyłącznie współczynnik gotowości, można dla określonych założeń wyprowadzać bardziej proste zależności. Na przykład: dla sieci składającej się z $k+1$ elementów / k elementów roboczych, 1 element rezerwowo/, przy stałym przyporządkowaniu wykonywanych funkcji /schemat B/, przy losowym przydzielaniu elementu rezerwowego, przy nieograniczonych możliwościach naprawczych, współczynnik gotowości kanałowej elementu roboczego, oznaczonego indeksem 1, będzie równy

$$K_1^k = K_1 / 1 + \gamma_1 K_r' /$$

$$1 + \sum_{l=1}^{k-1} \frac{1}{l+1} \left[\sum_{s=2}^{k-1+l} \gamma_s \sum_{r>s}^{k-1+2} \gamma_r \dots \sum_{n>p}^{k-2} \gamma_n \sum_{j>n}^{k-1} \gamma_j \sum_{i>j}^k \gamma_i \right]$$

gdzie:

$$K_r' = K_r K_o \left\{ 1 + \sum_{l=1}^{k-1} \left[\frac{1}{l+1} \sum_{s=2}^{k-1+l} \gamma_s \sum_{r>s}^{k-1+2} \gamma_r \dots \sum_{m>p}^{k-2} \gamma_m \sum_{j>m}^{k-1} \gamma_j \sum_{i>j}^k \gamma_i \right] \right\}$$

$$K_o = \prod_{m=2}^k K_m$$

$$K_m = \frac{\mu_m}{\mu_m + \lambda_m}$$

$$\gamma_m = \frac{\lambda_m}{\mu_m}$$

K_m oznacza współczynnik gotowości m -tego elementu roboczego, $m = \overline{1, k}$, λ_m i μ_m - średnią intensywność uszkodzeń i średnią intensywność odnow m -tego elementu roboczego, K_r - współczynnik gotowości elementu rezerwowego, K_r' - współczynnik gotowości wspólnej rezerwy, tzn. z uwzględnieniem, że rezerwowanie obejmuje wszystkie k elementów roboczych.

Uwaga: Liczba sum występujących w nawiasie kwadratowym wynosi zawsze 1.

W celu obliczenia niezawodności kanałowej pozostałych elementów roboczych, należy obliczenia powtórzyć, zmieniając każdorazowo oznaczenia ele-

mentów roboczych układu tak, aby analizowany element zawsze oznaczony był indeksem 1.

Jeżeli przy analizie niezawodności kanałowej ma być uwzględniona priorytetowość w przydzielaniu elementu rezerwowego /hierarchia ważności elementów roboczych w utrzymywaniu ciągłości łączności/, to można korzystać z metody pełnego przeglądu stanów badanego układu. Zwykle przy tym wystarczy ograniczyć się do fragmentu sieci, obejmującego tylko te elementy sieci, które są "związane" ze sobą wspólną rezerwą, na skutek czego liczność zbioru stanów nie jest zbyt duża. Współczynnik n-tego elementu układu ze wspólną rezerwą wyraża się wówczas wzorem

$$K_n^k = \sum_{g_j \in G_n^+} P/g_j/$$

gdzie: G_n^+ oznacza podzbiór stanów układu, w których n-ty element sam jest zdalny do pracy lub jest zastępowany przez jeden z elementów rezerwowych.

Z podanej zależności wynika, że w trakcie przeglądu stanów sprawnościowych układu należy sprawdzać czy stan należy do podzbioru G_n^+ , czy do G_n^- oraz w zwykły sposób wyliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia stanów należących do G_n^+ .

4. NIEZAWODNOŚĆ FUNKCJONALNA

Niezawodność funkcjonalna /ang. network dependability [7]/, charakteryzuje niezawodność sieci z uwzględnieniem jakości świadczonych usług. Definiuje się ją w następujący sposób: Jest to właściwość sieci decydująca o wykonywaniu wyznaczonych usług z jakością określoną ustalonym wymaganiem jakościowym, w określonym czasie i w określonych warunkach eksploatacyjnych.

Ogólna zasada wyznaczania niezawodności funkcjonalnej polega na przeglądzie wszystkich G stanów sprawnościowych sieci i wyznaczeniu dla każdego stanu wartości wskaźnika $w/g_j/$ oceniającego jakość usługową w sensie ustalonego wymagania jakościowego W /gałęzi funkcji celu/.

Otrzymane wartości uśrednia się na zbiorze G

$$\sum_j w/g_j/ P/g_j/$$

gdzie: $P/g_j/$ oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia stanu g_j , $\sum_j P/g_j/ = 1$.

W zależności skali ocen przyjętych przy wartościowaniu wskaźnika $w/g_j/$ występują dwie grupy wskaźników niezawodności funkcjonalnej.

Przy ocenie dwuwartościowej, progowej, wskaźnik $w/g_j/$ może przybierać dwie wartości:

$$w/g_j/ = \begin{cases} 1 & \text{gdy jakość świadczonych usług znajduje się w granicach} \\ & \text{tolerancji /powyżej wartości progowej/,} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases}$$

Otrzymuje się wówczas następujący wskaźnik niezawodności funkcjonalnej

$$K_w = \sum_{g_j \in G/W} P/g_j/$$

gdzie: G/W oznacza podzbiór stanów charakteryzujących się tym, że dla $g_j \in G/W$ wskaźnik $w/g_j/ = 1$; jest to zatem podzbiór stanów sprawnych "funkcjonalnie", tzn. w sensie przyjętego kryterium W .

Wskaźnik K_w interpretować zatem można jako współczynnik gotowości do wykonywania wyznaczonego zadania z jakością nie niższą od ustalonej wymaganiem W . Jest to zatem prawdopodobieństwo, że w dowolnym $t \in T_e, T_e$ - dostatecznie długi przedział obserwacji, sieć znajdować się będzie w stanie sprawności funkcjonalnej lub jest to udział rozpatrywanego czasu T_e /czasu jednostkowego/, w którym sieć będzie sprawna funkcjonalnie.

Korzystając z oceny wielowartościowej wskaźnika $w/g_j/$, wskaźnikiem niezawodności funkcjonalnej w sensie jakościowego wymagania W będzie średnia

$$\bar{w} = \sum_j w/g_j/ P/g_j/. \quad /4/$$

Jest to wartość wskaźnika jakości $w/g_j/$, jakiej oczekiwać należy przy eksploatacji sieci telekomunikacyjnej w dostatecznie długim czasie T_e .

Zasadniczym warunkiem otrzymywania porównywalnych wartości $w/g_j/$ jest wyznaczanie jakości usługowej przy stałym obciążeniu ruchowym sieci, równym obciążeniu nominalnemu. Chodzi tu o wyeliminowanie wpływu wahań obciążenia sieci na poziom jakości usług, co deformowałoby wyniki analizy niezawodności. W analizie tej ujęte powinny być jedynie czynniki "słeciowe" określające jakość usługową z wyeliminowaniem wszelkich czynników "pozasieciowych". Uwzględnianymi czynnikami sieciowymi będą oczywiście struk-

tura sieci i niezawodności jej elementów, a ponadto inne czynniki organizacyjno-techniczne, wpływające na jakość usługową. Należą do nich, na przykład:

- procesy utrzymywania sprawnego stanu urządzeń sieci /np. procesy obsługi profilaktycznego i korekcyjnego/;
- wyposażenie węzłów komutacyjnych sieci i wiązek łączy międzycentralowych, zgodne z uzasadnionymi normami projektowania sieci w zależności od założonego poziomu usługowego /i nominalnego obciążenia ruchowego/;
- gospodarka ruchowa, które to pojęcie oznacza okresową modyfikację rozmieszczenia sprzętu w sieci i planową rozbudowę w celu dostosowywania dysponowanych przepustowości sieci do systematycznych, długookresowych zmian /przede wszystkim wzrostu/ ruchu;
- doraźne przedsięwzięcia usprawniające, wprowadzane w ramach systemu sterowania użytkowaniem w przypadku wystąpienia uszkodzeń powodujących istotną degradację jakości usługowej /np. czasowe zmiany planu kierowania ruchu, uruchamianie zastępczych dróg połączeniowych po trasach obejściowych/.

Przy wprowadzaniu oceny niezawodności funkcjonalnej istotnym problemem jest zdefiniowanie wymagania W , które ma charakteryzować jakość usługową sieci. Definiowanie i normowanie jakości obsługi użytkowników sieci telekomunikacyjnej nie zostało dotychczas jednoznacznie przyjęte, dlatego musi ono być dokonywane przez prowadzącego ocenę niezawodności funkcjonalnej indywidualnie, w zależności od przewidzianego zastosowania.

Można przewidywać stosowanie ocen niezawodności funkcjonalnej w dwóch dziedzinach:

- w procesach prognozowania i projektowania sieci telekomunikacyjnej przy weryfikacji wariantowych rozwiązań strukturalnych sieci, planów kierowania ruchu i organizacji eksploatacji technicznej,
- przy ocenie wyników eksploatacji sieci /tak w zakresie utrzymania jak i użytkowania/.

Określając wymagania jakościowego W dla potrzeb pierwszej z tych dziedzin należy zwracać uwagę, czy przewidywany wskaźnik w/g_j jest możliwy do obliczenia analitycznego lub chociażby symulacyjnego.

Przykładowo można podać, że obliczenia niezawodności funkcjonalnej sieci telefonicznej dla oceny wariantowych rozwiązań projektowych mogą być

prorowadzone dla następującego modelu sieci. Badana jest wiązka łączy międzycen-
tralowych, posiadająca nominalną liczbę c_n łączy, przeznaczona do załat-
wiania strumienia ruchu o nominalnym natężeniu A Erl, z nominalną warto-
ścią strat ruchu B_n . Łącza wiązki są utworzone w sieci teletransmisyjnej
o strukturze zadanej grafem dwubiegunowym. Elementy niezawodnościowe tej
sieci ulegają uszkodzeniom i odnowom, proces uszkodzeń i odnów i -tego ele-
mentu jest charakteryzowany współczynnikiem gotowości p_i . Poza tym z każ-
dym elementem związana jest liczba c_i , przedstawiająca liczbę łączy ba-
danej wiązki, realizowanych w tym elemencie, tzn. że uszkodzenie i -tego
elementu pociąga przestój c_i łączy, $c_i \leq c_n$.

Dla przedstawionego modelu można sformułować następujące oceny śred-
nich, opierając się na wyrażeniu /4/:

- jeżeli jakość usługowa wyraża się liczbą łączy, które są użytkowane w
wiązce /są sprawne/, to otrzymuje się średnią przepustowość wiązki

$$\bar{c} = \sum_j c/g_j / P/g_j /$$

gdzie: $c/g_j /$ oznacza liczbę łączy sprawnych w stanie g_j , sumowanie prowa-
dzi się po wszystkich stanach sprawnościowych;

- jeżeli natomiast jakość usługowa określona jest stratami ruchu, to wskaź-
nikiem oceny będzie średni współczynnik strat ruchu

$$\bar{B} = \sum_j B/g_j / P/g_j /$$

gdzie: $B/g_j /$ oznacza współczynnik strat obliczony dla obiektu znajdują-
cego się w stanie g_j przy obciążeniu go ruchem o nominalnym natężeniu.

Przy przyjęciu progowej oceny sprawności funkcjonalnej otrzymuje się:

- w przypadku ustalenia normy na dopuszczalny poziom jakości usługowej w
postaci liczby c_o , $1 \leq c_o \leq c_n$, określającej minimalną liczbę łączy w
wiązce, które muszą być sprawne, aby wiązka mogła być zakwalifikowana
jako sprawna, oceną niezawodności funkcjonalnej będzie, tzw. współczyn-
nik łączności

$$K/c_o / = \sum_{g_j \in G/c_o /} P/g_j /$$

gdzie: podzbiór G/c_0 obejmuje stany, w których liczba sprawnych łączy wiązki jest nie mniejsza od c_0 ;

- w przypadku ustalenia wartości progowej na straty w wiązce - B_0 , $B_n \leq B_0 < 1$, normującej maksymalną wartość strat ruchu, przy których wiązka uznawana jest za sprawną funkcjonalnie, oceną niezawodności funkcjonalnej będzie współczynnik gotowości /na poziomie B_0 /

$$K/B_0 = \sum_{g_j \in G/B_0} P/g_j$$

gdzie: G/B_0 oznacza podzbiór stanów, w których straty ruchu nie przekraczają wartości B_0 /przy obciążeniu wiązki ruchem nominalnym/.

Można zwrócić uwagę, że przy przyjęciu $c_0 = 1$, współczynnik łączności jest równy współczynnikowi gotowości, określonego wzorem /2/. Oznacza to, że niezawodność strukturalna jest szczególnym przypadkiem niezawodności funkcjonalnej, otrzymywanym przy "rezygnacji" z oceny jakości usługowej.

Oczywiście pożądanym byłoby, aby niezawodność funkcjonalną obliczać nie tylko dla wiązek międzycentralowych, ale również dla relacji telefonicznych, tzn. dla sieci wiązek międzycentralowych, której węzłami końcowymi są centrale miejscowe abonenta wywołującego i wywoływanego. Niestety dla takiej sieci nie udało się dotychczas wyprowadzić prostych metod analitycznych, które dałyby się przetwarzać na EMC. Chodzi o to, że w centralach tranzytowych następuje mieszanie /kojarzenie/ ruchu relacji kierowanych na wspólne wiązki międzycentralowe. Wskutek tego sieć z centralami tranzytowymi przestaje być dwubiegunową - staje się wielobiegunkiem o wielu wejściach i wyjściach. W takiej sieci niezawodność funkcjonalną należy analizować jednocześnie dla wszystkich relacji, gdyż kojarzenie ruchu wiąże ze sobą jakość usługową tych relacji.

Jednakże w większości przypadków praktycznych powinno wystarczać ograniczenie się do obliczeń niezawodności funkcjonalnej poszczególnych wiązek, wchodzących w skład sieci wielobiegunkowej. Można bowiem sądzić, że przy ustalonym rozptywie strumieni ruchu /nie ulegającym zmianie w przyjętym czasie uśredniania danych niezawodnościowych/ jakość usługowa relacji nie będzie w sposób istotny różniła się od jakości usługowej wiązek, z których dana relacja jest zestawiona. Oczywiście przy zmianie natężenia ruchu kierowanego na wiązki obliczenia należy wykonać powtórnie.

W [8] przedstawiono programy, pozwalające obliczać podstawowe wskaźniki niezawodności funkcjonalnej dla sieci telefonicznej.

Stosowanie wskaźników niezawodności funkcjonalnej w drugiej przewidywanej dziedzinie - przy ocenie eksploatacji sieci - jest niestety utrudnione koniecznością spełnienia warunku, aby przy określaniu jakości usługowej obciążenie sieci było stałe /równe nominalnemu/. W rzeczywistej sieci zmieniają się bowiem zarówno stany sprawnościowe, jak i stany ruchowe, co nie pozwala na jednoznaczne określenie przyczyn zmian jakości usługowej.

Z tego względu praktycznie wykorzystywana może być jedynie pośrednia metoda oceniania eksploatacyjnej niezawodności funkcjonalnej, polegająca na tym, że oceny sprawności uzyskiwane będą z nadzoru sieci, natomiast oceny jakości usługowej - obliczane analitycznie. W tym celu należy nadzorować odpowiedni parametr wiodący, pozwalający na identyfikację stanu sprawnościowego obiektu podlegającego nadzorowi /wiązka łączy, relacja itp./. Zwykle takim parametrem będzie liczba sprawnych łączy c_j . Stanów sprawnościowych w zbiorze G będzie tyle, ile różnych wartości przyjmie liczba c_j , $0 \leq c_j \leq c_n$. Jednocześnie rejestracji podlega łączny czas przebywania obiektu w każdym stanie: $t/g_j/$. Po zakończeniu okresu sprawozdawczego T_e oblicza się:

$$P/g_j/ = \frac{t/g_j/}{T_e}$$

oraz odpowiedni wskaźnik $w/g_j/$, charakteryzujący jakość usługową odpowiadającą przyjętemu wymaganiu W . Podobnie jak i dla zastosowań projektowych, tak i dla oceny eksploatacyjnej można stosować średnią przepustowość, średni współczynnik strat, współczynnik łączności czy współczynnik gotowości /na poziomie $B_0/$.

5. SKUTECZNOŚĆ DZIAŁANIA SIECI

Jakość usług świadczonych przez sieć telekomunikacyjną zależy od stopnia zgodności przepustowości sieci z wielkością zgłaszanych przez użytkowników zapotrzebowań na usługi. Zgodność ta w czasie eksploatacji jest losowo naruszana tak wskutek uszkodzeń, wyłączających poszczególne elementy sieci z użytkowania, jak i zmian generowanego ruchu, przy czym w poszczególnych przypadkach może między obu tymi przyczynami występować korelacja.

Ponieważ z użytkowego punktu widzenia nie jest istotne, z jakich przyczyn następuje degradacja jakości usługowej, dlatego pożądana jest znajomość metod obliczeniowych, pozwalających na ocenę łącznego wpływu zmian sprawnościowych i zmian ruchowych.

W literaturze spotyka się próby sformułowania metod takiej oceny. Na przykład, w [9] proponuje się w tym celu obliczanie średniego ładunku ruchu niezatwionego w sieci telefonicznej w okresie T_0 /równym jednej dobie/ wg następującego wzoru

$$V_0 = \sum_j P/g_j/ T_0 \sum_{k=1}^w B/g_j, A_k/ r_k A_k \quad /5/$$

gdzie: $P/g_j/$ oznacza, jak zwykle, prawdopodobieństwo wystąpienia sprawnościowego stanu g_j , r_k - udział czasu, w którym ruch ma natężenie A_k , $B/g_j, A_k/$ - współczynnik strat ruchu obliczony dla przypadku, gdy sieć przebywa w stanie g_j i jest obciążona ruchem o natężeniu A_k , w - liczba przedziałów okresu T_0 , w k -tym przedziale ruch ma stałe natężenie A_k .

Inna propozycja przedstawiona jest w [10]:

$$C = \sum_j P/g_j/ \left[1 - \frac{A_z/g_j/}{A_z/g_0/} \right]$$

gdzie: $A_z/g_j/$ oznacza ruch zatwiony w stanie g_j , $A_z/g_0/$ - ruch zatwiony przez sieć znajdującą się w stanie pełnej sprawności. Wskaźnik C można nazwać współczynnikiem zatwiania ruchu.

W ocenach typu V_0 czy C zostaje "zgubiona" możliwość rozróżnienia skutków niezawodności sieci i wpływu zmian ruchowych. Dlatego należy uznać za nielogiczne wiązanie tego rodzaju ocen tylko z pojęciem niezawodności /funkcjonalnej/ sieci. Bardziej właściwe będzie potraktowanie ich jako odrębnych ocen charakteryzujących skuteczność działania sieci w warunkach zmiennych stanów sprawnościowych i ruchowych.

Skuteczność działania sieci /ang. system effectiveness [11], availability of service [12] / można zdefiniować jako właściwość sieci /np. telefonicznej/ do wykonywania wyznaczonych usług w warunkach zmieniających się losowo stanów sprawnościowych /uszkodzenia elementów sieci/ i stanów ruchowych /zmiany zapotrzebowania/.

Liczbą miarę tej właściwości można oprzeć na odpowiednio do potrzeb dobrej zależności analitycznej, wyrażającej jakość działania sieci w

funkcji stanu sprawnościowego i stanu ruchowego. Oznaczmy taką zależność przez $u/g,A/$, przy czym zakładamy, że $u/g,A/ \geq 0$. g i A oznaczają tu zmienne losowe, odpowiadające zmiennym stanom sprawnościowym i ruchowym, odpowiednio. Dla ogólności ujęcia można uważać, że zmienne te są zależne, tzn. istnieje łączna funkcja dystrybucji tych zmiennych: $H/g,A/$. W takim ujęciu, jako miarę /wskaźnik/ skuteczności działania sieci można przyjąć wartość średnią

$$Q = E\{u/g,A/\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u/g,A/ d(H/g,A/) \quad /6/$$

Przy użyciu wskaźnika Q do oceny skuteczności działania sieci telefonicznej można przyjąć następujące uproszczenia:

- zmienne g i A są "jednostronnie" zależne, tzn. że

$$h/g,A/ = p/g/ f/A|g/$$

gdzie: $p/g/$ oznacza gęstość zmiennej losowej g , $f/A|g/$ - funkcja gęstości rozkładu warunkowego zmiennej losowej A przy założeniu ustalonej wartości g . Zapis ten stwierdza, że zmiany stanów sprawnościowych są niezależne, natomiast stan ruchowy może zależeć od bieżącego stanu sprawnościowego; wiadomo bowiem, że w sieci telefonicznej, znajdującej się w stanie z przepustowością znacznie ograniczoną na skutek uszkodzeń, występują strumienie wywołań powtórnych, które w istotny sposób mogą zmienić obciążenie ruchowe sieci;

- zmienna g jest zmienną losową dyskretną. Założenie to jest zgodne z rzeczywistością, gdyż zbiór stanów sprawnościowych sieci jest zbiorem skończonym. Prawdopodobieństwo wystąpienia stanu g_j jest równe $P/g_j/$, $j = \overline{1,G}$, gdzie G - licznosc zbioru stanów sprawnościowych, $\sum P/g_j/ = 1$;
- zmienna losowa A jest zmienną ciągłą, która może przyjmować jedynie wartości dodatnie, tzn.:

$$F/A|g/ = \int_0^A f/s|g/ ds$$

Przy wprowadzonych uproszczeniach zależność /6/ przyjmie następującą postać:

$$Q = \sum_j P/g_j / \int_0^{\infty} u/g, A/ f/A |g_j / dA \quad /7/$$

Powyższe wyrażenie można uważać za definicję wskaźnika oceniającego skuteczność działania sieci telefonicznej. Wybór występującej w nim funkcji $u/g, A/$, oceniającej jakość działania sieci, powinien być dokonywany indywidualnie, w zależności od przewidywanego przeznaczenia oceny Q . Pozostałe funkcje obliczane będą z danych otrzymywanych w czasie nadzoru sieci.

Ramowa procedura obliczania skuteczności działania eksploatowanej sieci, przy ustalonej funkcji $u/g, A/$, będzie obejmowała:

1. Określenie stanów sprawnościowych, które wystąpią w okresie sprawozdawczym T_e , wraz z wyznaczeniem prawdopodobieństw $P/g_j /$.
2. Określenie dla każdego stanu sprawnościowego wartości całki ze wzoru /7/

$$\bar{u}/g_j / = \int_0^{\infty} u/g_j, A/ f/A |g_j / dA$$

bezpośrednio z danych nadzoru sieci lub pośrednio, przez wyznaczenie rozkładu natężenia ruchu $f/A |g_j /$ i numerycznego całkowania.

3. Obliczenie skuteczności działania sieci wg wzoru

$$Q = \sum_j P/g_j / \bar{u}/g_j / \quad /8/$$

Można zauważyć, że podany poprzednio wskaźnik V_0 - wzór /5/ - jest wskaźnikiem typu Q , w którym ocenianą cechą jakości działania sieci jest średni ładunek ruchu traconego w okresie T_0 . Dla uzyskania takiej oceny $\bar{u}/g_j /$ ze wzoru /8/ powinno mieć następującą postać

$$\bar{u}/g_j / = T/g_j / \overline{B/g_j, A/ A}$$

która określa średni ładunek ruchu traconego /niezałatwionego/ w stanie sprawnościowym g_j . $T/g_j /$ oznacza sumaryczny czas przebywania sieci w stanie g_j , $\overline{B/g_j, A/ A}$ - średnie natężenie ruchu niezałatwionego w stanie g_j , $B/g_j, A/$ - współczynnik strat ruchu występujących, gdy sieć znajduje się w stanie g_j i jest obciążona natężeniem ruchu A . W ogólnym przypadku natę-

żenie ruchu może zmieniać się w czasie przebywania sieci w stanie g_j .
 Oznaczmy zatem przez $A_k/g_j/$ natężenie ruchu oferowanego z prawdopodobieństwem $r_k/g_j/$, gdy sieć znajduje się w stanie g_j , $k = \overline{1, w_j}$. Otrzymamy wówczas następujące wyrażenie

$$\bar{u}/g_j/ = T/g_j/ \sum_{k=1}^{w_j} B(g_j, A_k/g_j/) r_k/g_j/ A_k/g_j/$$

Ma ono postać bardziej ogólną od zapisu odpowiedniej części wzoru /5/, gdyż umożliwiła uwzględnienie rozkładu natężenia ruchu, wyznaczonego indywidualnie dla każdego stanu g_j . Oczywiście, jeżeli przyjmie się, że rozkład natężenia ruchu nie zależy od stanu sprawnościowego i że okresem wyznaczania rozkładu jest doba $T_0/$, to otrzyma się postać identyczną z występującą w /5/

$$\bar{u}/g_j/ = T_0 \sum_{k=1}^w B/g_j, A_k/ r_k A_k$$

Na zakończenie można stwierdzić, że niezawodność funkcjonalna, omawiana w poprzednim rozdziale, jest szczególnym przypadkiem oceny skuteczności działania sieci, otrzymywanym przy założeniu stałości średniego natężenia ruchu oferowanego. Ruch o stałym natężeniu \bar{A} można bowiem interpretować jako zmienną losową o rozkładzie jednopunktowym

$$F/A/ = \begin{cases} 1 & \text{dla } A = \bar{A} \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Wówczas

$$\int_0^{\infty} u/g_j, A/ f/A/g/ dA = u/g_j, \bar{A}/$$

i wyrażenie /7/ przyjmie postać

$$Q = \sum_j u/g_j, \bar{A}/ P/g_j/$$

które od wzoru /4/ różni się jedynie oznaczeniami.*

WYKAZ LITERATURY

1. Applebaum S.P.: Steady-state reliability of systems of mutually independent subsystems. IEEE Trans. on reliability, R-14, 1965, no 1.
2. Frydrych Z.: Wskaźniki niezawodności relacji telefonicznych i metody ich obliczania. Prace Ił nr 1/53/, 1969.
3. Kozłowska J.: Wybrane metody optymalizacji niezawodnościowej sieci telekomunikacyjnych. W książce: "Metodyka projektowania sieci telekomunikacyjnych". WKiŁ. Warszawa 1977.
4. Kozlov B.A.: Rezervirovanie s vosstanovleniem. Sov. Radio, Moskva 1969.
5. Kozlov B.A., Ušakov J.A.: Spravočnik po rasčetu nadežnosti. Sov. Radio, Moskva 1975.
6. Artem'eva S.Ja. i inni: K analizu nadežnosti setej svjazi. Sb. "Informacija i informacionnyje seti". Nauka, Moskva 1977.
7. COM II-No.169: Characteristics of dependability and grade of service in international exchanges under failure conditions. CCITT, June 1979.
8. Sprawozdania bieżące z wykonywanej pracy nr 11.01.Y.05 pt. "Opracowanie metod modelowania sieci telekomunikacyjnej dla uzyskania ocen gotowości i efektywności jej działania", wykonywanej w Instytucie Systemów Telekomunikacyjnych WAT. Warszawa.
9. de Giovanni A.: Criteri e modalita per valutazioni di affidabilita nell reti telefoniche. Electronica e Telecomunicazioni, 22, 1973, no. 1.
10. Mrozynski G.: Beurteilung von Funktionssicherheit von Nachrichtennetzen mit mehreren Hierarchieebenen. Frequenz, 33, 1979, no. 3. :
11. Strandberg K.: Reliability prediction in telephone system engineering. 7th Int. Teletraffic Congres, Stockholm, June 1973.
12. COM II - No. 149: Extracts from the report on the CMBS meeting held in Geneva, 2-6 October 1978. CCITT, January 1979.

Dotychczas ukazały się :

1. Białobrzeski R., Sońta S.: Zastosowanie testu chi kwadrat Pearsona do weryfikacji hipotezy statystycznej, na podstawie empirycznej gęstości prawdopodobieństwa. Grudzień 1977.
2. Blinkiewicz A., Mędrzycki B., Hutnik M., Sambierski R.: Zastosowanie pamięci kasetowej PK-1 do rejestracji danych w systemie komutacyjnym E-10. Styczeń 1978.
3. Orłowski A.: Optymalizacja układu ogranicznika dynamiki zwłaszcza dla radiofonii krótkofalowej. Luty 1978.
4. Frączek K.: Zasady opracowywania wymagań techniczno-eksploatacyjnych na urządzenia pomiarowe w resorcie łączności. Marzec 1978.
5. Białobrzeski R., Dudziewicz J.: Minimalna częstość próbkowania sygnału losowego przy pomiarze jego mocy średniej. Marzec 1978.
6. Lewandowski W.: Wprowadzenie komutacji teledacyjnych kanałów cyfrowych w powszechnej telefonicznej sieci komutacyjnej z centralami elektrycznymi E-10. Kwiecień 1978.
7. Dudziewicz J.: Ogólne wytyczne w sprawie prowadzenia i dokumentowania prac naukowo-badawczych wykonywanych w Instytucie łączności. Kwiecień 1978.
8. Stągrowski A.: Metoda detekcji i pomiaru impulsów o maksymalnych i minimalnych czasach trwania w ciągu. Maj 1978.
9. Chamski J.: System CTI-B dla maszyny cyfrowej R-10. Maj 1978.
10. Puchalski E.: Kompensator napięcia stałego stosowany w układach do sprawdzania przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów. Czerwiec 1978.
11. Kozłowski A.: Elektroniczny sygnalizator przywołania abonenta w aparacie telefonicznym CB. Wrzesień 1978.
12. Stasiński L.: Wyładowania łukowe w.c.z. na izolatorach odciągów pionowych anten radiofonicznych. Październik 1978.
13. Walaszek S.: Zastosowanie uogólnionego rozwiązania układu o trzech stanach do analizy niezawodności. Styczeń 1979.
14. Sońta S.: Aparatura automatyczna badań sieci łączy międzymiastowych systemu ABA-3. Luty 1979.

15. Godlewski P.: Język programowania badań w systemie ABA2 i ABA3. Marzec 1979.
16. Waśniewski A.: Kombinatoryczne aspekty planowania badań sieci telekomunikacyjnej za pomocą systemu ABA-3. Kwiecień 1979.
17. Brennek L., Lebidziuk B.: System edycji, przechowywania i translacji programów w języku SAWIK dla minikomputera MERA 305. Maj 1979.
18. Godlewski P.: Aparatura sterująca systemem badaniowego ABA-3 - architektura urządzenia. Czerwiec 1979.
19. Chamski J.: Centrum eksploatacji technicznej w systemie E 10. Lipiec 1979.
20. Porada M.: Komunikat o badaniach zakłóceń impulsowych w łączach telefonicznych. Sierpień 1979.
21. Sońta S.: Generacja sygnałów losowych niezależnych obciążających kanały telefoniczne. Wrzesień 1979.
22. Karwowska-Lamparska A.: Koncepcja systemu WIDEOTEKS. Październik 1979.
23. Kowalska J.: Próba eksploatacyjna automatycznej aparatury badaniowej ABA-2 - analiza wyników, wnioski. Listopad 1979.
24. Tyrowicz M.: System zdalnej rejestracji kontroli obiektów specjalnych - REKO - . Grudzień 1979.
25. Frydrych Z.: Uwagi o wymiarowaniu wiązek łączy międzycentralowych. Styczeń 1980.

S-8682