

1970
Nr 2 (95)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ
ŁĄCZNOŚCI





MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

ROK 10

WARSZAWA 1970

NR 2(95)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja
Problemów Łączności i Przeglądu Zagadnień Łączności

Redaktor Naczelny - prof. Zenon Szpigler

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko, dr Stanisław Włoszczowski

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Berkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

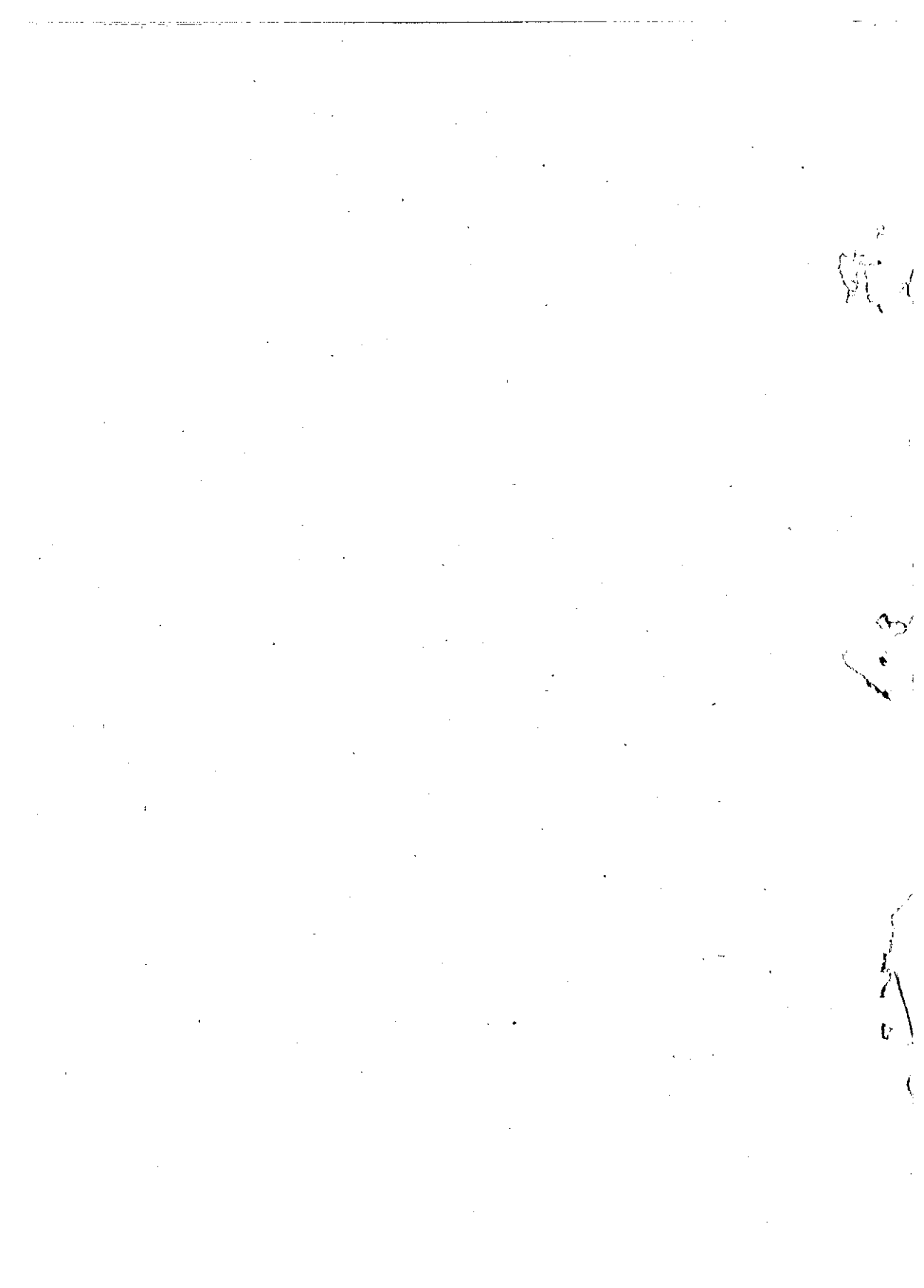
Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 740. Druk ukończono
w kwietniu 1970 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI

Niezawodność sieci, urządzeń, elementów

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Vodička Fr.: Problemy niezawodności sieci telekomunikacyjnej - Opracowała J. Przybysz	1
2. Rothe O.: Oszacowywanie niezawodności urządzeń teletransmisyjnych - Opracował C. Niewiadomski	23
3. Gurevic A.S., Kurbatov N.D.: Niezawodność kabli telekomunikacyjnych - Opracował C. Niewiadomski	43
4. Tretter J.: Badanie wad, klasyfikacja wad i fizyka wad elementów telekomunikacyjnych - Opracował C. Niewiadomski	103



PROBLEMY NIEZAWODNOŚCI SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

Opracowała J. Przybysz na podstawie artykułu:
Vodička Fr., VUS. Čsl. Spoje 1969 t. 14, nr 3,
s. 16-19.

W pracach instytutu naukowego VUS opracowano koncepcję teletransmisyjnej części sieci międzymiastowej, ustalono wielkości poszczególnych wiązek i podzielono te wiązki na poszczególne trakty, szczególnie w sieci tranzytowej, przy jednoczesnym uwzględnieniu zapotrzebowania na łącza dla połączeń międzynarodowych.

Określono również środki techniczne, które mają być użyte na poszczególnych poziomach sieci [1], [2]. Oprócz określenia rozwoju sieci telefonicznej dla ustalonego stopnia telefonizacji podstawowym problemem dla każdego poziomu jest ustalenie niezawodności tej sieci jako całości oraz wyprowadzenie z tego warunków na niezawodność poszczególnych części sieci, jej urządzeń i zespołów.

Podstawowym wymaganiem jest, aby współczynnik niezawodności sieci międzymiastowej jako całości między centralami międzymiastowymi końcowymi, razem z połączeniami międzynarodowymi, wynosił 0,990. Dotyczy to międzynarodowych traktów liniowych w sieciach kabli dalekosiężnych, traktów łączących wszystkie przyszłe 23 centrale tranzytowe w obrębie państwa i traktów prowadzących z tych central tranzytowych do 217 central końcowych.

W przypadku sieci wewnątrzstrefowej i łączy w sieciach miejscowych wymaga się, aby współczynnik niezawodności wynosił 0,95. Ponieważ połączenia mogą być zestawiane po różnych drogach, trzeba więc najpierw ustalić typowy model całego połączenia, dla którego należy obliczyć żadaną niezawodność.

Aparat telefoniczny jest przyłączony do centrali miejscowej łączem o długości 5 km; z końcowej centrali międzymiastowej prowadzi łącze międzymiastowe o długości 25 km do centrali mm w centrum strefy, a z niej łącze długości 70 km, oparte na systemie N + N (np. 12 + 12) do centrali tranzytowej. Połączenie do międzynarodowej centrali wychodzącej zestawia się za pomocą dwóch łączy tranzytowych po 180 km, a łącze międzynarodowe ma dwa odcinki po 2500 km.

Jeżeli dla obliczenia niezawodności będziemy rozważać tylko odcinki między dwoma centralami międzymiastowymi w centrum stref numeracyjnych w różnych państwach, całkowita liczba odcinków wyniesie:

$$n = 2 (1 + 2) + 2 = 8,$$

a całkowita długość łącza wynosi 5840 km.

Jeżeli dla całego połączenia wymagana wartość prawdopodobieństwa ruchu niezakłóconego (bez uszkodzeń) wynosiłaby 0,99 w określonym przedziale czasowym (zwykle podaje się intensywność pojawiania się uszkodzeń λ na 1000 godzin), można by obliczyć prawdopodobieństwo ruchu bez uszkodzeń w danym okresie jednego członu całego łańcucha transmisyjnego (złożonego z n członów) z równania

końcowego prawdopodobieństwa ruchu bez uszkodzeń dla całego łańcucha:

$$P(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot \dots \cdot p_n(t) = \exp \left[-\frac{t}{T_v} \right] \quad (1)$$

a poszczególnego członu:

$$p_n(t) = \exp \left[-\frac{t}{T_n} \right] = \exp \left[-\lambda^n t \right], \quad (2)$$

gdzie T_v jest przedziałem wypadkowym między początkowymi chwilami dwóch po sobie następujących uszkodzeń całego połączenia, a T_n - jednego z łączy połączonych szeregowo.

Dla $t = 1000$ godz. otrzymamy:

$$p(1000) = 0,99 = \exp \left[-\frac{1000}{T_v} \right]$$

$$T_v = 10^5 \text{ godzin i } \lambda = 1 \cdot 10^{-2}/1000 \text{ godz.}$$

Dla liczby odcinków $n = 8$ i przy równomiernym rozkładzie prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia na danym odcinku możemy obliczyć ze wzoru (1):

$$p_n^8(1000) = 0,99$$

$$p_n(1000) = 0,99875 \quad (3)$$

$$\lambda_n = 0,00125/1000 \text{ godz.}$$

$$T_n = 0,8 \cdot 10^6 \text{ godz (100 lat).}$$

Dokładniejszy rachunek według modelu całego traktu uwzględnia długości poszczególnych odcinków i zebranie dużych wiązek łączy w poszczególne bloki, co przedstawiono w dalszych obliczeniach.

Powstaje pytanie, czy obliczoną w ten sposób wartość λ_n jednego odcinka można osiągnąć w rzeczywistości. Na przykład w przypadku międzynarodowej linii dalekosiędnej na kablu współosiowym średniowymiarowym o długości 2500 km, przy pominięciu wpływu niezawodności urządzeń końcowych i niezawodności samego kabla, w 415 wzmacniakach przelotowych, rozmieszczonych co 6 km, wymagana niezawodność p_z i natężenie uszkodzeń λ_z wynosiłyby według wzoru (1):

$$p_z = \sqrt[415]{0,99875} = 0,999997$$

$$\lambda_z = 3 \cdot 10^{-6} / 1000 \text{ godz.}$$

i przedział czasu między uszkodzeniami jednego wzmacniaka równałby się:

$$T_z = \frac{10^3}{3 \cdot 10^{-6}} = 0,34 \cdot 10^9 \text{ godz. /39 tysięcy lat)$$

Przy uwzględnieniu długości poszczególnych odcinków połączenia wartość λ_z , przypadająca na poszczególne wzmacniaki włączone w kable współosiowe łączy międzynarodowych, byłaby większa, jednak praktycznie w dalszym ciągu nie do zrealizowania. W najnowocześniejszych wzmacniakach tranzystorowych na kablach współosiowych małowymiarowych (Japonia), skonstruowanych dla traktu

o długości 2500 km, również osiąga się wartości

$$\lambda_z = 0,0005/1000 \text{ godz.}$$

$$T_z = 2 \cdot 10^6 \text{ godzin}/230 \text{ lat/}$$

tj. wartości o więcej niż dwa razy gorsze.

Osiągnięcie wartości niezawodności obliczonej według intensywności uszkodzeń drogi transmisyjnej z wzmocnieniami jednokierunkowymi nie jest więc w praktyce możliwe. Stopień niezawodności, obliczony z punktu widzenia intensywności uszkodzeń, dałby się zrealizować jedynie przez stosowanie skomplikowanych rezerw i podział wiązek łączny poszczególnych relacji na wielką ilość eksploatacyjnie od siebie niezależnych części, co byłoby bardzo kosztowne.

Dlatego dla spełnienia podstawowego wymagania na niezawodność całego traktu nie można brać pod uwagę tylko intensywności uszkodzeń λ lub średniego czasu T między momentami powstawania uszkodzeń, ale współczynnik gotowości p_p i współczynnik przestoju q , które lepiej określają niezawodność nie tylko urządzeń i materiałów, ale również i stan gotowości brygad konserwacyjnych. Rozważa się przy tym tylko dwa stany: stan pracy bądź stan uszkodzenia. Okresu pogorszenia się parametrów, które powodują konieczność stosowania zabiegów konserwacyjnych, nie brano pod uwagę.

Dla średniego czasu między momentami pojawienia się dwóch uszkodzeń

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{\sum (T_1 \dots T_n)}{n} \quad (4)$$

i dla średniego czasu wykonania jednej naprawy, złożonego z czasu zidentyfikowania uszkodzenia i z czasu koniecznego do jego usunięcia

$$T_o = \frac{1}{\mu} = \frac{\sum (T_{o1} \dots T_{on})}{n} \quad (5)$$

gdzie μ jest intensywnością napraw, współczynnik gotowości wynosi

$$P_p = \frac{T}{T+T_o} = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \quad (6)$$

a współczynnik przestoju

$$q = \frac{T_o}{T+T_o} = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \quad (7)$$

przy czym zachodzi zależność:

$$p + q = 1 \quad (8)$$

W przeciwieństwie do wartości intensywności uszkodzeń i średniego czasu między dwoma uszkodzeniami w określonym przedziale czasu p i q są wartościami względnymi, zależnymi od stosunku czasu napraw T_o do czasu pracy bez uszkodzeń T . A więc są one zależne od organizacji i techniki konserwacji. Są również zależne od szybkości stwierdzenia i lokalizacji uszkodzenia, od szybkości wymiany uszkodzonego podzespołu lub całego

wzmacniaka w łączach kablowych, lub od szybkości usunięcia uszkodzenia w stacji radioliniowej.

Wymaganiem podstawowym dla łączności dalekosiężnej między dwoma centralami międzymiastowymi końcowymi w różnych państwach przy przedstawionym modelu połączenia jest utrzymanie współczynnika gotowości:

$$P_p = 0,990 \quad (9)$$

Obliczamy ze wzoru (6)

$$T_o = 0,101 T \quad (10)$$

a z (8):

$$q = 0,010_2 \quad (11)$$

Te równania podstawowe były punktem wyjścia dla studiów podanych w [1], [2].

Równanie (1), zależne jedynie od jakości urządzeń, przekształci się na

$$P_p = P_{p1} \cdot P_{p2} \cdot \dots \cdot P_{pn} \quad (12)$$

a przy $n = 8$ dla pojedynczego odcinka drogi transmisyjnej otrzymamy

$$P_{p8} = 0,99875, \quad (13)$$

a konieczny czas naprawy według wzorów (6) i (7) będzie wynosił

$$T_o = \frac{q}{P_p} \cdot T \doteq 0,00125 T \quad (14)$$

Dla sieci miejscowej i wewnątrzstrefowej oraz dla łączy radioliniowych bezpośrednich wymaga się, aby:

$$p_p = 0,95 \quad (15)$$

$$T_0 = 0,0526 T \quad (16)$$

$$q = 0,05. \quad (17)$$

Powyższe wartości można przyjąć za wyjściowe oddzielnie dla każdego połączenia. Są to równania zasadnicze, z których się wychodzi przy obliczaniu sieci telefonicznej. Trzeba jednak uwzględnić rzeczywiste wartości T_0 . Według dotychczasowych doświadczeń czas potrzebny do zlokalizowania i usunięcia uszkodzenia w urządzeniach zewnętrznych wynosi od 20 do 60 minut; przy usuwaniu uszkodzeń w stacjach nieobsługiwanych trzeba liczyć się z czasem od 4 do 12 godzin. Wartość T_0 daje się skrócić przez automatyczną lokalizację wadliwego urządzenia lub zespołu oraz poprzez dobrą organizację służby usuwania uszkodzeń i szybką wymianę urządzeń uszkodzonych w stacjach nieobsługiwanych. Możliwości skrócenia wartości T_0 , szczególnie w stacjach nieobsługiwanych, są w znacznej mierze zależne od czasu transportu brygad naprawczych do miejsca uszkodzenia i przez to są bardzo ograniczone. W okręgu o wielkiej liczbie połączonych ze sobą urządzeń należy dążyć do zwiększenia czasu pracy bez uszkodzeń T , co wpływa wyraźnie na wartość wypadkową gotowości p_p .

Należy wprowadzić dokładniejsze dane o wartościach λ i o czasie T dla głównych środków transmisyjnych. Inten-

sywność uszkodzeń jest wyznaczana przez jakość sprzętu dostarczanego resortowi łączności, przez odpowiedni wybór systemu, w którym ten sprzęt pracuje, oraz przez odpowiednie zaprojektowanie systemu zasilającego i zabezpieczeń przed wpływami zewnętrznymi. Niezawodność całego łańcucha transmisyjnego (np. w przedstawionym modelu połączenia) jest określona przez niezawodność odcinków, w nich zaś (przez niezawodność poszczególnych zespołów, a na koniec przez niezawodność poszczególnych elementów.

Gwarancją niezawodności całej sieci telekomunikacyjnej jest więc odpowiedni rozwój technologii i opanowanie nowoczesnych procesów produkcyjnych elementów wszystkich typów stosowanych w produkowanych urządzeniach. Zgodnie z literaturą można liczyć się z tym, że średnia liczba uszkodzeń elementów w 1970 roku wyniesie $1 \cdot 10^{-3} / 1000$ godz. (klasa 4. [5]), a $T = 10^6$ godz., co jest o około rząd lepiej niż w roku 1950 (klasa 6). Po zastosowaniu obwodów zcalonych można by oczekiwać (takiej samej niezawodności całych obwodów jak dziś pojedynczych elementów. Do 1990 roku ta niezawodność ma się zwiększyć jeszcze o jeden rząd na $0,1 \cdot 10^{-3} / 1000$ godz. (klasa 2). Jest to najbardziej efektywny sposób zwiększania niezawodności całej sieci telekomunikacyjnej. Wartość intensywności uszkodzeń λ obniży się i przy danym czasowym ograniczeniu okresu napraw T_0 można zwiększyć także wymagany współczynnik gotowości p_p .

Należy się jednak liczyć z obecnym stanem jakości urządzeń telekomunikacyjnych i elementów w nich użytych. Rozrzut niezawodności elementów jest dotychczas bardzo

duży, zmienia się bowiem aż o dwa rzędy wielkości. Na przykład dla tranzystorów, które są podstawowymi aktywnymi elementami nowoczesnych urządzeń telekomunikacyjnych, wartość λ zmienia się od 0,1 do $10 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin (klasa 2 do 6); w nowoczesnych urządzeniach telekomunikacyjnych, w których jest skupiona wielka liczba kanałów, należy doprowadzić niezawodność tranzystorów aż do $0,006 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin ($T = 1,6 \cdot 10^8$ godzin, lepsza niż w klasie 1).

To dążenie do podnoszenia niezawodności elementów jest spowodowane coraz większym skupieniem dużej liczby kanałów w poszczególnych zespołach w wyjściowych i wejściowych stopniach urządzeń końcowych i we wzmacniakach szerokopasmowych, których duża liczba jest połączona szeregowo w traktach liniowych. Na przykład w kablu współosiowym małowymiarowym, który jest jednym z nowoczesnych środków transmisyjnych, w modelowym trakcie liniowym długości 2500 km włączono 625 wzmacniaków przelotowych o 3750 tranzystorach w głównej drodze transmisyjnej. Przy dobrej wartości $\lambda = 0,1 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin (klasa 2) wartość λ_c wyniesie $375 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin, a uszkodzenie powstanie na drodze transmisyjnej o 960 kanałach raz na $T = 2800$ godzin, a więc w czasie jednego roku praca się przerwie trzykrotnie. Ze względu na to, że we wzmacniaku prócz tranzystorów jest jeszcze dalszych 61 elementów o niezawodności np. o jeden rząd lepszej λ zmieni się na $756 \cdot 10^{-3}/1000$ godz., czas będzie wynosił $T = 1300$ godzin, a trakt liniowy zostanie przerwany siedem razy na rok. Odpowiada to produkcji wzmacniaków o

szczytowej jakości, gdzie $\lambda_z = 1,5 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin (Philips) lub aż do $0,5 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin (Japonia).

W pierwszym przypadku należy wymagać, aby niezawodność średnia elementu wynosiła $0,022 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin, tj. żądać jakości klasy 1 lub jeszcze lepszej, wówczas przerwa całej drogi o długości 2500 km powstanie po 1100 godzinach, tj. po 45 dniach (osiem razy na rok). Przeliczając to na 100 km traktu otrzymamy, że jedno uszkodzenie wzmacniaka na tym odcinku powstanie raz na 3 lata.

Obecnie przy jakości zwykłych podzespołów o średniej wartości $\lambda = 1,65 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin (klasa 4 i 5) i wartości dla całego wzmacniaka $\lambda_z = 110 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin przerwy w trakcie powstawałyby co każde 15 godzin. Dopuszczenie takiej wartości jest niemożliwe; podstawowy warunek dopuszczalnego odstępu czasu między dwoma uszkodzeniami dane równaniem (14), nie będzie spełniony nawet przez produkcję szczytową. Przy $T_0 = 6$ godzin wymagany odstęp między uszkodzeniami wynosi $T = 4800$ godzin, tj. 200 dni.

Nie sprostą temu żaden z przedstawionych przypadków. Na jeden wzmacniak w kablu współosiowym małowymiarowym połączenia międzynarodowego długości 2500 km wymagane byłoby $T_z = 3 \cdot 10^6$ godzin, tj. 340 lat, a $\lambda_z = 0,3 \cdot 10^{-3}/1000$ godzin, $p_z = 0,9999980$. Odpowiada to jednemu kierunkowi transmisji.

W tej sytuacji konieczne było poszukanie innego rozwiązania. Można rozróżnić wymagania na urządzenia dla długich traktów międzynarodowych od wymagań na urządze-

nia dla łączy krajowych, szczególnie na krótkie odległości.

Nie można tego spełnić całkowicie np. w sieci łączy tranzytowych, które przebiegają w tych samych traktach co i wiązki łączy międzynarodowych, a nie można przecież w nich stosować dwojakiego rodzaju urządzeń. W każdym przypadku więc w tych najwyższych poziomach sieciowych należy wymagać dużej niezawodności poszczególnych zespołów grupowych i wzmacniaków. Można natomiast zmniejszyć wymagania dla urządzeń niższego poziomu sieci. W żadnym jednak razie nie da się spełnić podstawowych wymagań na niezawodność sieci bez dodatkowych zabezpieczeń w wyższych poziomach sieci.

Dotąd rozważano wpływ wspólnego wyposażenia grupowego. W całym połączeniu jednak jest włączony szereg urządzeń końcowych i kable poszczególnych traktów liniowych. Systemy modulacji końcowe w wykonaniu nowoczesnym są zbudowane w około 10% z półprzewodników, podczas gdy resztę stanowią elementy pasywne, charakteryzujące się niezawodnością większą niż tranzystory. Liczba elementów przypadająca na jeden kanał transmisyjny jest około pięciokrotnie większa od liczby przypadającej na jeden wzmacniak i prawdopodobieństwo uszkodzenia jest do tego proporcjonalne. Jednak trzeba uwzględnić znaczenie poszczególnych części, a następnie ważną okoliczność, że czas T w stacji końcowej obsługiwanej jest mały. Według pomiarów rzeczywistych, np. na stojaku modulatorów kanałowych z 24 jednostkami, uszkodzenie pojawia się średnio co 640 godzin, w jednym kanale zaś średnio co 15400 go-

dzin. A więc przy lokalizacji i naprawie uszkodzenia w ciągu 60 minut współczynnik gotowości jednego zakończenia kanałowego będzie wynosił

$$p_k = \frac{15400}{15401} = 0,99994$$

co stanowi wartość bardzo bliską jedności. Poza tym można spodziewać się, że kanały co najmniej jednej 12-kanałowej grupy pracują w jednej relacji, tak że można dopuścić nawet wypadnięcie z pracy pewnej liczby kanałów m w tej grupie. Można dowieść [4], że prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzenia 12-kanałowego urządzenia kanałowego jednej relacji w obydwóch stacjach wynosi

$$P_p = \left[1 - \binom{12}{m+1} (1-p_k)^{m+1} \right]^2 \quad (18)$$

Na przykład dla $m = 2$ w jednym zespole końcowym otrzymamy:

$$P_p = 1 - \binom{12}{3} (1-0,99994)^3 = 1$$

Wpływ urządzenia końcowego na tzw. niezawodność wiązki zbliża się więc do jedności i można go pominąć.

Można wyrazić również znaczenie zespołu w zależności od liczby przechodzących kanałów. Na przykład w przedstawionym przykładowo systemie 24-kanałowym znaczenie jednostek kanałowych względem jednostek grupowych i wzmacniaków wynosi

$$p_k = 1 - \frac{1-0,99994}{24} = 0,9999925,$$

co potwierdza przykład poprzedni.

Przeciwnie zaś w stojakach wyposażenia wspólnego (modulatorów grupowych i stojaków z wyposażeniem mieszanym) uszkodzenie zdarza się co 2500 godzin i pojawia się w całej grupie 24-kanalowej, tak że

$$p_p = 0,9996$$

Wreszcie zaś urządzenia wspólne dla całej stacji (np. dla 24 grup po 24 kanałów) mają znaczenie o wiele większe. Przy tej samej liczbie uszkodzeń jak w wyposażeniu grupowym, czas skróciłby się do $T = 10^4$ godzin, a gotowość osiągnęłaby wartość niedopuszczalną

$$p_p = \frac{10^4}{10^5} = 0,99$$

Chodzi tu np. o źródło częstotliwości nośnych i o źródło zasilające, w przypadku których znaczenie pracy bez uszkodzeń przez zastosowanie rezerwowych źródeł zastępczych staje się coraz bardziej aktualne. Dlatego trzeba w zależności od znaczenia poszczególnych zespołów w całym łańcuchu transmisyjnym wybrać określony system zabezpieczenia, zapewniający osiągnięcie odpowiedniego stanu gotowości, tj. wymaganego współczynnika w wysokości 0,99.

Oprócz znaczenia poszczególnych zespołów wprowadzono pojęcie czasu naprawy T_0 , który jest różny w zależności od systemu. W urządzeniach końcowych, skupionych w dużych stacjach mających setki i tysiące kanałów, których znaczenie z punktu widzenia całej sieci i utworzonych

wiązek w poszczególnych relacjach jest małe, chodzi głównie o to, aby liczba pracowników konserwacji była wystarczająca dla uniknięcia gromadzenia się uszkodzeń, które by czekały na kolejne usuwanie. Chodziłoby o skomplikowane rozwiązanie teoretyczne przy pomocy teorii kolejek.

Niezawodność właściwa jest zapewniona w dostatecznej mierze przez szybką lokalizację uszkodzeń za pomocą automatycznego urządzenia badaniowego i przez możliwość szybkiej wymiany zespołów, szczególnie do modulacji kanałowej.

Rezerwowanie jest w tym przypadku sprawą prostą: następuje przez przełączenie na rezerwy modulator kanału lub przez blokowanie jednego kanału z wiązki kanałów określonej relacji, przy czym wypadkowa niezawodność wiązki praktycznie się nie zmienia.

Wyposażenie grupowe w stacjach końcowych można zabezpieczyć w dostatecznej mierze za pomocą rezerwy stacyjnej, która (np. w podstawowych generatorach nośnych) zostaje przełączona automatycznie.

Najbardziej skomplikowanym problemem jest zabezpieczenie wzmacniaków w trakcie liniowym, których jest dużo więcej niż np. stacji radioliniowych przelotowych. Poza tym założono, że jest mało prawdopodobne, aby przy dużej liczbie wzmacniaków w kablu dla telefonii naturalnej uszkodziły się jednocześnie dwa sąsiednie wzmacniaki, które leżą w rejonie obsługiwanym przez tę samą brygadę naprawczą.

Dlatego nie rozważano tworzenia się kolejek. Przypa-

dek ten mógłby się poza tym wydarzyć na dwóch współbieżnych traktach liniowych, należących zwykle do różnych relacji. Nie stanowiłoby to więc pogorszenia niezawodności wiązkowej, nawet gdyby się ten rzadki przypadek wydarzył.

Obliczono, że dla długich traktów międzynarodowych nawet produkcja wzmacniaków dla telefonii naturalnej o wartościach szczytowych nie odpowiada podstawowemu warunkowi wyrażonemu przez równanie (13). W rzeczywistości należy się liczyć z wartościami niższymi i dlatego w pracach [1] i [2] rozwiązano problem zwiększenia niezawodności głównie przez rozdzielenie wiązek poszczególnych relacji wszystkich wyższych poziomów sieci na kilka od siebie niezależnych wiązek, prócz rezerwy własnej stosowanej w niektórych systemach nośnych. Praktycznie chodzi tu o równoległe połączenia obwodów, zespołów, urządzeń i traktów liniowych. W każdym z tych przypadków wychodzi się z równania

$$q = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n \quad (19)$$

Przy połączeniu szeregowo-równoległym, które zdarza się bardzo często, stosuje się kombinacje równań (12) i (19). Daje się to również zastosować i w przypadku wartości bezwzględnej intensywności uszkodzeń.

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_n \quad (20)$$

W systemach kablowych rezerwowanie systemowe odbywa się w różny sposób. Np. w liniach dalekosiężnych sieci

międzynarodowej w kablach współosiowych średniowymiarowych K-1920 zastosowano rezerwę stacyjną we wzmacniakach przelotowych we wszystkich stopniach wzmacniania. Dla osiągnięcia dobrych wartości $\lambda_z = 0,5 \cdot 10^{-3} / 1000$ godz. całego wzmacniaka wystarczy, aby dla jednego równolegle połączonego elementu

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{0,5}{10^6}} = 0,7 / 1000 \text{ godz.}$$

co oznacza, że intensywność uszkodzeń mogłaby być o około trzy rzędy większa. Niezawodność wypadkowa pracy traktu liniowego tego systemu rzeczywiście to potwierdza.

W przypadku wartości czasu usunięcia uszkodzenia $T_0 = 6$ godz. otrzymamy dla wzmacniaka nierezzerwowanego $p_z = 0,9958$, dla wzmacniaka rezerwowanego $p'_z = 0,999997$. Przy tym uszkodzenie praktycznie nie powstanie, tylko nastąpi chwilowe zwiększenie obciążenia niektórych lamp elektronowych we wzmacniaku.

W tym trakcie liniowym na kablu współosiowym można zastosować również odcinkowe rezerwowanie traktu liniowego, np. jeden odcinek zawiera $n = 50$ wzmacniaków włączonych szeregowo, a dwa takie odcinki są równolegle rezerwowane. Współczynnik wypadkowy gotowości tego odcinka będzie wynosił:

$$p_p = 1 - (1 - p_z^n)^2 \quad (21)$$

Również przy wzmacniakach nierezzerwowanych, w których przy prostej drodze z 50 wzmacniakami otrzymamy $p_p =$

$= 0,9958^{50} = 0,87$, przez rezerwę odcinkową podniesiemy gotowość do wartości

$$p_p = 1 - (1 - 0,87)^2 = 0,983$$

przy jednoczesnej rezerwie stacyjnej otrzymamy $p_p \hat{=} 1$.

Rezerwowanie odcinkowe w kablu przedstawia pewne trudności. Przy małej liczbie par współosiowych w profilu kabla (np. 4) nie zawsze można pozostawić jedną dwójkę nie wykorzystaną i wykorzystać ją tylko jako rezerwową.

Jeżeli jednak obydwa tory są w ruchu, nie można jednoznacznie określić, który tor ma być rezerwą dla drugiego. Dlatego ten sposób rezerwy odcinkowej używa się raczej w radioliniach, gdzie np. dla 5 pracujących kanałów w.cz. daje się jeden dodatkowy kanał jako wspólną rezerwę.

Sposób ten, powszechnie przyjęty w połączeniach radioliniowych, nie jest tak wygodny w traktach kablowych. Mechaniczne uszkodzenie kabla może objąć jednocześnie wszystkie pary pracujące i rezerwowe, a dawanie rezerwy zupełnie się nie opłaca. Można go jednak zastosować w kablach symetrycznych dla telefonii naturalnej lub w kablach współosiowych mieszanych i przy większej liczbie par. Ruch telefoniczny z pary, na której uszkodził się wzmacniak, przerzuca się między najbliższymi obsługiwanymi stacjami wzmacniakowymi na parę rezerwową z uprzednio włączonym żarzeniem lamp wzmacniaków.

W każdym przypadku dawanie rezerwy systemu jest bardzo kosztowne i osiągnięty efekt nie bywa proporcjonalny do zwiększonych kosztów.

Dlatego w opracowaniach sieci międzymiastowej podanych w [1], [2] został wybrany system podziału wiązki łączy każdej relacji na dwa, a nawet trzy trakty całkiem od siebie niezależne. Stosuje się kombinacje wszystkich rodzajów kabli dalekosiężnych i systemów radiolinii w poszczególnych relacjach na wszystkich poziomach sieci. Do obliczenia gotowości wypadkowej przy podziale wiązek nie stosuje się wzoru (22), lecz wygodniejszy od niego wzór (21). Dla osiągnięcia wartości $p_{pn} = 0,99875$ według wzoru (13) dla wiązki 60-łączowej, podzielonej na dwa samodzielne trakty, oblicza się współczynnik gotowości jednego wzmacniaka, których w każdym trakcie długości 2500 km jest 625, z równania (21)

$$0,99875 = 1 - (1 - p_z)^{625^2},$$

z tego obliczamy $p_z = 0,99994$, a przy $T_0 = 6$ godzin otrzymany $T_z = 10^5$ godzin (11 lat), co stanowi w stosunku do nie podzielonych i nie posiadających rezerw traktów wartość 30 razy korzystniejszą, a można ją osiągnąć bez jakiegokolwiek dalszego powiększania rezerw. Przy przeliczeniu na trakt o długości 100 km kabla współosiowego małowymiarowego daje to 2,2 uszkodzenia na jeden rok.

Ten sposób jest powszechnie stosowany w traktach międzynarodowych bez względu na to, czy system ma swoje indywidualne rezerwy czy nie. Dokładniejsze obliczenie przeprowadza się w zależności od użytych systemów. Zależy ono od rzeczywistej długości relacji międzymiastowej

wej i od liczby wzmacniaków lub stacji radioliniowych w przebiegu poszczególnych traktów.

Jeszcze korzystniejsze jest podzielenie dużych wiązek w relacjach międzynarodowych na trzy trakty, gdy wymagania na ten stan gotowości np. jednego wzmacniaka kabla współosiowego małowymiarowego są wyrażane równaniem:

$$0,99875 = 1(1-p_z^{635})^3$$

$$p_z = 0,99983$$

Przy $T_0 = 6$ godzin otrzymamy $T = 3,5 \cdot 10^4$ godz. (4 lata), co daje w porównaniu z wiązkami nierezzerwowanymi wartość więcej niż 100 razy lepszą. Na trakt o długości 100 km przypada 6,2 uszkodzeń na rok, co odpowiada wzmacniakom jakiegokolwiek konstrukcji i dlatego w ważnych traktach międzynarodowych i relacjach krajowych podział wiązek na trzy trakty jest w pełni uzasadniony i celowy.

Trakty między centralami tranzytowymi są zwykle podzielone na dwa. Przy długości jednego traktu modelowego równej 180 km i przy użyciu kabla współosiowego małowymiarowego z 45 wzmacniakami otrzymujemy dla traktu pojedynczego:

$$p_z = \sqrt[45]{0,99875} = 0,999972$$

$$T_z = 2,1 \cdot 10^5 \text{ godzin}$$

Na 100 km traktu przypada 1 uszkodzenie rocznie, co jest do przyjęcia. Przy traktach podzielonym na dwa otrzy-

musimy dla jednego wzmacniaka wartość p_z obliczoną z równania:

$$0,99875 = 1 - (1 - p_z^{45})^2$$

$$p_z = 0,99922$$

$$T_z = 7,7 \cdot 10^3 \text{ godzin.}$$

Na 100 km samodzielnego traktu można by dopuścić do 29 uszkodzeń na rok. Podobnie można obliczyć wymaganą wartość niezawodności dla innego poziomu sieci. Przydzielenie części wiązek do różnych traktów oznaczałoby znaczne obniżenie wymagań na urządzenia grupowe, głównie na wzmacniaki przelotowe. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że niektóre łącza danej relacji będą częściej brane do pracy. Straty ruchowe, na które były obliczone wiązki, znacznie wzrosną; wartość strat, według założenia wynosząca 1%, zwiększy się do 20% przy wypadnięciu z pracy połowy łączy (np. 30 z 60 łączy), a w przypadku założonych 5% strat wzrośnie do 70%. Przy podziale wiązki łączy w poszczególnych relacjach na trzy różne trakty straty wzrastają o połowę. W każdym przypadku jednak dojdzie do ograniczenia ruchu, dlatego nie można dopuszczać do całkowitego wykorzystania obliczonych wartości λ_z dla traktu podzielonego na dwie lub trzy części, lecz wybrać realną wartość między wartościami ekstremalnymi. Osiągnie się w ten sposób dostatecznie wysokie wartości niezawodności wiązki z uwagi na to, że uszkodzenia nie powstają tylko we wzmacniakach i stacjach końcowych, ale

również i we właściwej linii kablowej, która może osiągnąć taką samą (lub nawet wyższą) liczbę uszkodzeń niż w urządzeniach wewnętrznych.

Przedstawione uwagi mają zapoznać czytelnika z metodą postępowania przy obliczaniu niezawodności sieci jako całości i wyprowadzaniu z tego warunków na jej poszczególne części. W konkretnym przypadku trzeba by było przeprowadzić obliczenie indywidualnie według przedstawionej metody.

WYKAZ LITERATURY

1. VTP 5015/63 - Studie řešení přenosové části jednotné telekomunikační sítě (VÚS-1963).
2. VTP 6 TE03/67 - II. etapa automatizace meziměstského telefonního spojení v ČSSR do roku 1975 a III etapa do roku 1980-1985 (VÚS-1967).
3. Bunin D.A.: Eksploatacionnaja nadežnost' radiorelejných linij, Avtomatika, telemekhanika, svjaž 1966 nr 1, s. 12-15.
4. Straňak Fr.: Spolehlivost spojení w radioreléových sítích (3. etapa úkolu 1736/66).
5. ČSN 36 7001 - Elektronické přístroje - Zkoušky spolehlivosti (bezporuchovosti) - Návrh 1967.

OSZACOWYWANIE NIEZAWODNOŚCI URZĄDZEŃ TELETRANSMISYJNYCH

Opracował C. Niewiadomski na podstawie artykułu Rothe O.: Zur Ermittlung der Zuverlässigkeit bei Übertragungstechnischen Geräten, Mitt. IPF 1969 nr 1, s. 15-19.

1. WSTĘP

Przed rozpoczęciem opracowania nowych urządzeń teletransmisyjnych powinny być podane nie tylko, jak dotychczas, ich własności elektryczne i eksploatacyjne, lecz również optymalne dla urządzeń mierzone wskaźniki niezawodności. W związku z tym trzeba było jednak ustalić uprzednio obiektywne cechy niezawodności, które zastąpiłyby w znacznej mierze dotychczasowe subiektywne oszacowanie tej własności. To właśnie zostało niżej omówione, ponadto zaś przedstawiono w skrócie także metodę oszacowywania niezawodności.

2. NIEZAWODNOŚĆ ELEMENTÓW

Producenci elementów ustalają zwykle ich wskaźniki niezawodności z długotrwałych badań dużej liczby elementów w nominalnych pod względem obciążenia, temperatury, zdarzeń itp. warunkach. I tak z liczby uszkodzeń podczas badań ustala się prawdopodobieństwo niewystąpienia uszkodzenia R lub też prawdopodobieństwo wystąpienia u-

szkodzenia Q w danym czasie badania, określone przez stosunki:

$$R = \frac{\text{liczba nie uszkodzonych elementów w czasie } t}{\text{liczność próbki}}$$

albo

$$Q = \frac{\text{liczba uszkodzonych elementów w czasie } t}{\text{liczność próbki}}$$

przy czym

$$Q = 1 - R$$

Rozkład w czasie uszkodzeń oraz jego zależność od warunków badań są natomiast rzadziej określone. Przyjmuje się przy tym w zasadzie, że po pewnym okresie wczesnych uszkodzeń o zwiększonym Q (wyeliminowaniu wadliwych elementów) prawdopodobieństwo uszkodzeń w jednostce czasu ustala się na dłuższy czas, odpowiadający czasowi użyteczności technicznej, i to stałe w czasie prawdopodobieństwo uszkodzeń określa się zwykle wskaźnikiem λ , wyrażanym w uszkodzeniach na godzinę. Wskaźnik ten, po pominięciu okresu wstępnego, można wyrazić stosunkiem

$$\lambda = \frac{Q}{t}$$

W przypadku elementów stykowych zamiast czasu stosuje się liczbę zadziałań. W taki sposób mamy więc intensywność uszkodzeń statyczną (zależną od czasu) i dynamiczną (zależną od liczby zadziałań), przy czym za uszkodzenie uważa się, jeżeli nie są podane specjalne gra-

nice, każde przekroczenie własności elektrycznych poza wartości ustalone dla danego elementu.

Badania niezawodności elementów przeprowadza się u producentów, częściowo metodami przyspieszonymi (większe obciążenie, większa częstotliwość zadziałań). Jakkolwiek pewność oceny niezawodności takimi metodami jest jednak sporna, są one tym niemniej właściwe dla porównywania różnych elementów tego samego rodzaju, gdy bada się je dokładnie takimi samymi metodami.

Warunki występujące podczas eksploatacji nie odpowiadają zwykle warunkom podczas badań laboratoryjnych niezawodności, wskutek czego wskaźników ustalonych przez producentów elementów nie można stosować bez zastrzeżeń do oszacowywania niezawodności urządzeń. Dlatego też niezbędne są dalsze dane, uwzględniające wpływ obciążenia elektrycznego, rodzaju pracy (ciągła lub nieciągła), temperatury, wilgoci i in., którymi niestety dysponuje się wyjątkowo. Zależność niezawodności eksploatacyjnej od tych czynników jest jednak tak duża, iż w stosunku do niezawodności laboratoryjnej występują niekiedy różnice od jednego do trzech rzędów wartości, których nie można wobec tego pomijać.

Dalsze różnice w stosunku do niezawodności laboratoryjnej, podawanej przez producenta, wynikają z obwodów, w których są zainstalowane elementy. Z nich wynikają także różne wymagania odnośnie tolerancji, a więc różny wpływ zmian własności elementów na pracę urządzenia.

3. NIEZAWODNOŚĆ URZĄDZEŃ

Powyższe zależności dotyczą w zasadzie także niezawodności urządzeń. I tak w przypadku tej niezawodności odróżnia się również okres wczesnych uszkodzeń o zwiększonej intensywności uszkodzeń w jednostce czasu, w którym uwidaczniają się i w którym usuwa się błędy fabrykacyjne, po czym następuje okres o statystycznym, przeciętnie równomiernym w czasie rozkładzie uszkodzeń i z kolei okres zmęczenia (zużycia) o wykładniczo zwiększającej się liczbie uszkodzeń na jednostkę czasu. W związku z tym czas eksploatacji powinien w miarę możliwości pokrywać się z okresem środkowym, wczesne uszkodzenia powinny być wykryte i usunięte przez producentów w próbie trwałości wyprodukowanego urządzenia, a po nastąpieniu okresu zużycia urządzenia powinny być możliwie wkrótce wycofane z eksploatacji. W przypadku niektórych elementów, szczególnie obciążonych, jak na przykład lamp, przekaźników o dużej częstotliwości zadziałań itp., może być przewidziana także planowa ich wymiana.

Do liczbowego oszacowania niezawodności urządzeń przyjęto w skali międzynarodowej wskaźnik określający oczekiwany czas między kolejnymi uszkodzeniami t_m (MTBF - mean time between failures), uważany za najważniejszy wskaźnik niezawodności urządzeń, określający średni czas między dwoma kolejnymi uszkodzeniami urządzenia przy przyjęciu statystycznego rozkładu uszkodzeń, które nie dotyczy więc uszkodzeń w okresie wstępnym i w okresie zużycia. I tak gdy w przypadku 100 wzmacniaków występu-

je 10 uszkodzeń w czasie 10000 h, t_m wzmacniaka wynosi

$$t_m = \frac{10^2 \cdot 10^4}{10} \text{ h} = 100000 \text{ h}$$

Powyższy czas t_m może być większy niż oczekiwany czas użyteczny pracy urządzenia. Taki przypadek oznacza, że prawdopodobieństwo przypadku uszkodzenia urządzenia podczas okresu użyteczności jest < 1 .

Dla pełnej jasności ważne jest jeszcze określenie, co rozumie się za uszkodzenie. I tak w przypadku teletransmisji przewodowej jest celowe przyjęcie za uszkodzenie takiego uszkodzenia, które wymaga naprawy urządzenia, wobec czego wady usuwane przez regulowanie elementów, zwykłą konserwację zestyków itp. nie są zaliczane do uszkodzeń. Takie postępowanie wynika z tego, iż powyższe czynności są uważane dotąd za normalną konserwację, aż z nich nie zrezygnuje się ze względu na niemożliwość fizyczną wykonywania. Do uszkodzeń nie są zaliczane także uszkodzenia przemijające, na przykład krótkotrwałe przerwy, jeżeli ich przyczyna nie jest ustalona. Po ustaleniu przyczyny, na przykład chwiejności styku, trzeba natomiast je zaliczać jako jedno uszkodzenie.

Naprawy trzeba zawsze zaliczać do uszkodzeń i uważać je za uszkodzenia nawet wtedy, gdy nie powodują one zakłóceń w kanałach transmisyjnych, jak na przykład w przypadku uszkodzeń zespołów rezerwowych, a więc uszkodzeń zasilania falą nośną lub odbiornika pilotowego. Tylko przy takim bowiem ustaleniu przy badaniach niezawodności zostaną uwzględnione wszystkie czynności.

Zależność t_m urządzenia od niezawodności elementów
ujmuje stosunek

$$t_m = \frac{1}{\lambda_{urz}}$$

przy czym

$$\lambda_{urz} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

gdzie λ_i przedstawia intensywność uszkodzeń wszystkich elementów urządzenia, włącznie z połączeniami lutowanymi, w warunkach eksploatacyjnych. Zależność ta jest słuszną teoretycznie tylko dla systemów bez rezerwowania i z szeregowym rozmieszczeniem elementów oraz może być stosowana, gdy jako uszkodzenie rozumie się każde ograniczenie lub zagrożenie użyteczności eksploatacyjnej. Często przy tym usiłowano włączyć do rozważań nad niezawodnością skutki uszkodzeń, jak na przykład liczbę uszkodzonych kanałów, co okazało się jednak prawidłowe tylko w czasie rozważań nad gotowością do pracy i zachowaniem się w pracy, a niemożliwe w przypadku oszacowań niezawodności.

Inne znajdujące się w literaturze wskaźniki niezawodności są jedynie odmiennym wyrażeniem matematycznym wskaźnika t_m . I tak, na przykład, prawdopodobieństwo niewystąpienia w czasie t żadnego uszkodzenia R jest związane z t_m zależnością

$$R = e^{-\lambda_{urz} \cdot t} = e^{-t/t_m}$$

Zależność ta teoretycznie umożliwia uwzględnienie zmiennych w czasie intensywności uszkodzeń, chociaż w praktyce nie ma jednak do tego przesłanek.

W przypadku systemów z elementami rozmieszczonymi szeregowo R wyraża się nie sumą, lecz iloczynem składników

$$R_{urz} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n$$

Bliższe dane odnośnie niezawodności urządzeń teletransmisyjnych są podawane w literaturze wyjątkowo. Takie niektóre dane, dotyczące wskaźników uzyskiwanych za granicą w urządzeniach teletransmisyjnych, porównane z zakresem rozrzutu danych podawanych przez inne źródło, przedstawia tabl. 1, z której wynika, że wskaźniki uzyskiwane w urządzeniach teletransmisyjnych są w ogólności najlepszymi dotąd uzyskiwanymi wskaźnikami.

Stan ten jest wynikiem przede wszystkim ciągłej pracy urządzeń teletransmisyjnych w całkowicie lub częściowo klimatyzowanych pomieszczeniach, w których, w porównaniu do urządzeń ruchowych i pracy nieciągłej, niezawodność jest większa o co najmniej jeden rząd wielkości. W urządzeniach wytwarza się bowiem prawie stały mikroklimat o małej wilgotności, który w przypadku prawidłowo skonstruowanych urządzeń odpowiada w przybliżeniu warunkom normalnym (temperatura $+40^{\circ}$).

Przeważająca część obwodów urządzeń teletransmisyjnych jest bardzo mało obciążona elektrycznie, gdyż wszystkie zespoły bierne (filtry, korektory), jak również strony wejściowe wzmacniaczy pracują przy niskich pozio-

Dane z literatury odnośnie intensywności uszkodzeń λ elementów urządzeń telefoni
nośnej w porównaniu z ogólnymi danymi o uszkodzeniach elementów

Rodzaj elementu	źródło danych			/3/
	/2/	/4/	/5/	
Oporniki warstwowe	} $2 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-10} - 1 \cdot 10^{-9}$	$< 1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-5}$
Kondensatory z papieru metalizowanego		$1 \cdot 10^{-9}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	} $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-4}$
Kondensatory foliowe	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9} - 7 \cdot 10^{-9}$	} $2 \cdot 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-5}$	
Elementy indukcyjne	$3 \cdot 10^{-9}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$		} $1 \cdot 10^{-7} - 9 \cdot 10^{-4}$
Tranzystory krzemowe	} $7 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	
wzmacniające		$1 \cdot 10^{-8}$		
przełączające		$3 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-7}$		
Tranzystory germanowe		$3 \cdot 10^{-9} - 3 \cdot 10^{-8}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	
Diody		$3 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-8}$		
Przełączniki rurkowe		$1 \cdot 10^{-7}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	
Inne przełączniki miniaturowe		$1 \cdot 10^{-8}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	
Potencjometry warstwowe		$1 \cdot 10^{-10} - 3 \cdot 10^{-10}$		$5 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-3}$
Połączenia lutowane	$5 \cdot 10^{-10}$			
t_m	$2 \cdot 10^6$ h	$3 \cdot 10^6$ h		
	Wzmacniak z 100 elementami i 200 połączeniami lutowanymi	Urządzenie telefoni nośnej z 710 elementami i 2700 połączeniami lutowanymi		

mäch. I tak według doświadczeń autora i innych źródeł [5] średnie obciążenie elementów wynosi od 10 do 20% obciążenia nominalnego elementów.

Ponadto od poziomu wymaga się dużej stałości, która z kolei jest związana z dużą niewrażliwością na zmiany własności, czyli na przekraczanie odchyłek przez poszczególne elementy. Natomiast wyjątków od tego, jak na przykład krytycznych elementów filtrów, coraz bardziej unika się.

W tablicy 2 przedstawiono analizę uszkodzeń strazy-storowanego przemiennika kanałowego produkcji VEB Fernmeldewerk Bautzen. Podobne wyniki uzyskano również dla systemu Z12, jednakże liczba urządzeń zbadanych jest jeszcze za małą do całkowicie pewnego prognozowania.

Z tablicy tej widać, że nowoczesne urządzenia produkcji NRD mają taką samą dobrą niezawodność, jaka wynika z tabl. 1, obrazującej stan międzynarodowy. I tak tylko w przypadku elementów stykowych (przekazniki, potencjometry, złącza wtykowe) niezawodność okazała się poniżej stanu światowego, podczas gdy w przypadku innych elementów jest ona prawie taka sama.

Także jakościowe oszacowanie wykazuje podobną zależność intensywności uszkodzeń, gdyż uszkodzenia całkowite stwierdzano przeważnie tylko w zespołach wzmacniaczy. Filtry wykazują natomiast praktycznie jedynie uszkodzenia wynikające z przekroczenia odchyłek, które usuwa się przez przestrojenie.

Wskaźniki niezawodności dawniej produkowanych urządzeń lampowych zestawiono w tabl. 3. Z tablicy tej wi-

Uszkodzenia strazystworowanego przemiennika kanałów /czas pracy 14 miesięcy, liczba badanych przemienników 10000, liczba urzędzeniogodzin 1.10⁸/

Zespół	Łączna liczba uszkodzeń	Liczba uszkodzeń poszczególnych elementów										połączenia lutowane	strojenie i inne
		Kondensatory	elementy indukcyjne	oporniki	potencjometry	transystory	diody	przekazniki	złącza wykończone	połączenia lutowane	strojenie i inne		
KU-8	73	3					1				1	10	58
KU-E	65	4				1						10	58
SIU-S	283	133	9	3	85	2				1		12	38
SIU-E	76	15			11				8			15	27
KN	116	29	1	4	45	3				1		13	20
VGU-j	23	2										3	18
VGU-E	14	1										2	11
VGv	30	1			12	1						3	3
GGV	6				1							2	3
Vg-Eb	45										13	32	
Razem	731	188	10	7	154	4	4	8		16		102	228
λ		1,3·10 ⁻⁸	5·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	3·10 ⁻⁷	4·10 ⁻⁹	3·10 ⁻⁹	8·10 ⁻⁹		8·10 ⁻⁸		1,3·10 ⁻⁹	1,4·10 ⁻⁸ x/

t_m kompletnego przemiennika /48 kanałów/ - 2900 h /3 uszkodzenia w roku/

x/ Odniesiono do łącznej liczby elementów.

Liczba uszkodzeń urządzeń lampowych według statystyki z 1966-1967 r.

Dane dotyczące uszkodzeń	System i urządzenie						
	Z12N	LV120	GGU	Z8, FB102	AUV II	RLV55	WT51
	Urządzenie końcowe /12 kanałów/	Łącze wzmacniane	System /120 kanałów/	Urządzenie końcowe /8 kanałów/	Łącze wzmacniane	Radiofoniczna stacja wzmacniająca	Urządzenie końcowe /12 kanałów/
Liczba uszkodzeń 100 jednostek w roku	370	24	262	1600	25	46	1002
Oczekiwany czas między kolejnymi uszkodzeniami	2400 h	3600 h	3400 h	560 h	35000 h	19000 h	870 h
Liczba uszkodzeń poszczególnych elementów	46	14	25	235	5	16	166
λ lamp	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Przełączniki	54	-	4	340	7	-	373
λ przełączników	$4,5 \cdot 10^{-6}$	-	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	-	$3 \cdot 10^{-5}$
Bezpieczniki	-	-	20	300	-	1	82
Zestyki	52	1	41	100	-	20	111
Nieznane przyczyny	41	3	37	-	-	-	-
Pozostałe elementy	177	6	123	625	13	9	270
λ pozostałych elementów	$6 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$

dać, że bardzo odmienne urządzenia wykazują godną uwagi zgodność intensywności uszkodzeń λ , która jednak jest o jeden rząd wielkości gorsza niż urządzeń stranzystorowanych. Stan ten jest wynikiem zarówno postępów uzyskanych w produkcji elementów, jak też większych obciążeń elektrycznych i cieplnych, jakim poddawano urządzenia lampowe.

Dane te wykazują, że niezawodność różnych urządzeń z tego samego okresu technicznego jest bardzo podobna, jeżeli będzie ona wyrażona intensywnością uszkodzeń λ . Godne uwagi pod tym względem jest wystąpienie w tabl. 3 dwóch grup urządzeń (okres techniczny 1960 r., jak V60 i Z12N, oraz okres techniczny 1950 r., jak Z8, wzmacniak uniwersalny II, WT51), z czego wynika, że także wnioski z doświadczeń z pierwszymi urządzeniami stranzystorowanymi mogą być przeniesione na urządzenia nowego typu.

4. PORÓWNANIE NIEZAWODNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ Z NIEZAWODNOŚCIĄ SZACUNKOWĄ

Otrzymane wyniki z badań eksploatacyjnych porównano z danymi producentów elementów i danymi z literatury odnośnie wpływu czynników na intensywność uszkodzeń, zwłaszcza podanymi przez Institut für Nachrichtentechnik [7]. W wyniku tego porównania stwierdzono zgodność teoretycznej niezawodności szacunkowej z niezawodnością eksploatacyjną, gdy w przypadku elementów elektronicznych zostaną uwzględnione warunki ich pracy w eksploatacji, a

mianowicie obciążenie elektryczne odpowiadające 0,1 obciążenia nominalnego i napięcie odpowiadające 0,3 napięcia znamionowego, powodujące przy wilgotności i temperaturze pracy urządzeń teletransmisyjnych zmniejszenie intensywności uszkodzeń do 0,05 - 0,01 intensywności nominalnej.

Potencjometry i złącza wtykowe na ogół rzadko wymagają zadziałań, a liczby zadziałań podawane przez producenta są dalekie od osiągnięcia podczas okresu użyteczności. Wobec powyższego w przypadku tych elementów miarodajna jest statyczna intensywność uszkodzeń, jakkolwiek powodowane najczęściej przez te elementy zakłócenia zestyków (krótkotrwałe uszkodzenia) można zgodnie z definicją tylko z dużym zastrzeżeniem zaliczyć do uszkodzeń. Urządzenia teletransmisyjne są jednak czułe na zakłócenia zestyków ze względu na niski poziom użyteczny, przy jakim pracują, i dlatego też statyczną intensywność uszkodzeń trzeba uwzględniać w obliczeniach bez wprowadzania zmian.

W przypadku przekaźników często rozstrzygająca jest natomiast dynamiczna intensywność uszkodzeń, w której uwzględnia się liczbę zadziałań zestyków, wahająca się w szerokich granicach, na przykład od 1000 do 50000 na godzinę. Często jednak przekaźniki są instalowane w obwodach kontrolnych, w których przełączania zachodzą rzadko (tylko w przypadku wystąpienia wad), wobec czego wymagania odnośnie niezawodności przekaźników powinny być z zasady zależne od ich zastosowania. Prócz tego powinna być podana zawsze wymagana minimalna wartość średnia,

a jeżeli w poszczególnych przypadkach nie można jej osiągnąć, trzeba wtedy zastosować lepszy przekaźnik, na przykład rurkowy, albo też wprowadzić przełączanie elektroniczne.

Uszkodzenia miejsc lutowanych nie podlegają żadnym zależnościom, wobec czego chwilowo trzeba je przyjmować według danych statystycznych.

5. SPRAWDZANIE DOTRZYMANIA WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI

W przypadku nowo opracowywanych urządzeń prace nad niezawodnością mają być przeprowadzane według wytycznych opracowanych przez Institut für Nachrichtentechnik we współpracy z Institut für Post- und Fernmeldewesen, zakładami produkcyjnymi, DAMV (Urząd Kontroli i Miar) i innymi zainteresowanymi [9]. Wytyczne te ustalają żądania producenta, zamawiającego i częściowo DAMV.

I tak dla zamawiającego, to jest Administracji Poczty Niemieckiej, Institut für Post- und Fernmeldewesen ma wykonywać, co następuje:

a. Ustalać wymagania odnośnie niezawodności, a zwłaszcza wartości minimalnej t_m , oznaczanej przez t_{mu} , wprowadzać je do wymagań technicznych, a następnie ewentualnie jeszcze raz konkretyzować wymagania po opracowaniu w międzyczasie koncepcji urządzenia.

b. Ustalać program badań z opracowującym urządzenie oraz podział zadań dotyczących badań z producentem urządzenia.

c. Informować producenta o czasie trwania wstępnego starzenia, któremu powinien on poddać wszystkie urządzenia przed dostarczeniem zamawiającemu.

d. Przeprowadzać częściowe badania niezawodności w ramach prób prototypów urządzeń, wykonywanych przez Institut für Post- und Fernmeldewesen. Zakres tych prób nie powinien być przez to znacznie zmieniony oraz powinien zawsze umożliwiać wiarogodne oszacowanie niezawodności, poza tym zaś przy badaniach powinno być zapewnione dokładne wykrycie wszystkich uszkodzeń występujących w okresie próbnym, ewentualnie nawet przy pomocy personelu technicznego z eksploatacji w miejscu przeprowadzania badań.

e. W przypadku ewentualnego niespełnienia wymagań niezawodności dążyć najpierw do ulepszenia urządzenia przez usunięcie miejsc słabych, przy czym skutki przeprowadzonych zmian powinny być wykazane przez producenta co najmniej drogą badań laboratoryjnych, po czym Institut für Post- und Fernmeldewesen powinien możliwie dokładnie ocenić uzyskane w taki sposób wyniki.

Jeżeli za pomocą powyższych środków przyjęty wskaźnik niezawodności nie zostanie osiągnięty, wtenczas nie przyznaje się urządzeniu znaku jakości Q lub 1.

f. Ustalać niezawodność eksploatacyjną poprzez prawidłową, nadającą się do szacowania statystykę uszkodzeń.

Przy badaniach niezawodności należy pamiętać, że uszkodzenia wykazują stosunkowo duży rozrzut w czasie i w poszczególnych urządzeniach. Dlatego też w wymaganiach

trzeba podawać minimalny czas badań w stosunku do t_{mu} oraz poziom ufności wyników badań [9].

6. USTALANIE WYMAGAŃ NIEZAWODNOŚCI

Określanie wymagań niezawodności sprawia pewne trudności wobec niedysponowania dostatecznym doświadczeniem. Na początku opracowywania nie ma bowiem jeszcze pełnej koncepcji urządzenia, schematów połączeń i zwłaszcza obciążeń poszczególnych zespołów.

Dlatego też jako baza wyjściowa przy określaniu wymagań służą dane dotyczące porównywalnych urządzeń (na przykład zestawione w tablicach 1-3), przy których trzeba jednak zawsze uwzględniać nowe czynności funkcjonalne urządzenia, jak na przykład czynności zespołów kontrolnych i regulacyjnych, ponieważ mogą one znacznie skomplikować urządzenie. W związku z powyższym trzeba więc określić przynajmniej w przybliżeniu liczbę i rodzaj elementów.

Do oszacowywania niezawodności urządzenia z intensywności uszkodzeń elementów Institut für Post- und Fernmeldewesen opracował tabl. 4, zawierającą średnie wartości intensywności uszkodzeń elementów urządzeń teletransmisji przewodowej. Dane w tablicy świadomie nie są zadanie rozczłonkowane i służą tylko do ustalania rzędu wartości λ , wobec czego nie mogą one być stosowane w tych szczególnych przypadkach, gdy niezbędne jest dokładne oszacowanie, uwzględniające typy elementów, warunki zastosowania itp. Ponadto dane w tabl. 4 trzeba

T a b l i c a 4

Tymczasowe wartości intensywności uszkodzeń do oszacowania t_{mu} w wymaganiach dla urządzeń teletransmisji przewodowej

Rodzaj elementu	Intensywność uszkodzeń		
	Według stanu światowego zgodnie z tabl.1	Według danych eksploatacyjnych zgodnie z tabl.2	Tymczasowe wartości do obliczeń
Oporniki	1.10^{-9}	1.10^{-9}	1.10^{-9}
Kondensatory	3.10^{-9}	$1,3.10^{-8}$	1.10^{-8}
Elementy indukcyjne	3.10^{-9}	5.10^{-9}	1.10^{-8}
Tranzystory	1.10^{-8}	4.10^{-9}	1.10^{-8}
Diody	1.10^{-8}	3.10^{-9}	1.10^{-8}
Potencjometry warstwowe	1.10^{-8}	3.10^{-7}	1.10^{-7}
Przełączniki małego typu	1.10^{-7}	2.10^{-6}	1.10^{-7}
Przełączniki rurkowe	1.10^{-8}	1.10^{-7}	1.10^{-7}
Złącza wtykowe	Brak danych	8.10^{-8}	1.10^{-7}
Połączenia lutowane	3.10^{-9}	$1,3.10^{-9}$	1.10^{-9}
Uszkodzenia wskutek przekroczenia odchyłek parametrów, odniesione do wszystkich elementów	Brak danych	$1,4.10^{-8}$	1.10^{-8}

zawsze uważać za wartości średnie, które w rzeczywistości mogą być gorsze lub lepsze, poza tym zaś trzeba uwzględnić w obliczonych z nich wymaganiach niezawodności pewien przedział rozrzutu statystycznego i pewien udział uszkodzeń w okresie wstępnym, w związku z czym obliczoną liczbę uszkodzeń podwaja się, czyli zmniejsza się do połowy czas t_m przy ustalaniu czasu t_{mu} .

Określone w ten sposób czasy t_{mu} odpowiadają zadowalająco oczekiwanym wartościom eksploatacyjnym, co oznacza, że pomimo znacznego przybliżenia wartości średnich λ mogą one być przydatnym środkiem pomocniczym do opracowania wymagań niezawodności. Opracowujący urządzenie musi jednak przeprowadzić dokładne oszacowanie w celu uniknięcia miejsc słabych, które może być często wykonane stosunkowo późno. To oszacowanie ma szczególne znaczenie dla producenta i użytkownika przy osądzaniu przyczyn uszkodzeń w czasie eksploatacji próbnej.

7. WYKORZYSTYWANIE WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI W EKSPLOATACJI

Wskaźnik niezawodności t_m i kryteria uszkodzeń według wymagań technicznych mogą być wykorzystywane w eksploatacji także do ustalania wskaźników jakości, harmonogramów konserwacji, stanu części zapasowych itd.

Obecnie obowiązujące przepisy nie zawsze pokrywają się jednak z ustaleniami wynikającymi z badań niezawodności, gdyż, na przykład, we wskaźniku jakości są aktualnie uwzględniane tylko uszkodzenia w głównym czasie

eksploatacji, w dodatku przy tym bez uszkodzeń przemijających, a harmonogramy konserwacji uwzględniają z kolei głównie takie zjawiska jak zmiany poziomu, których nie zalicza się do uszkodzeń. Dlatego też do ustalenia wyżej wspomnianych danych potrzebne są przeliczenia i dodatkowe współczynniki, w czym mogą pomóc, pomimo powyższych trudności, dane niezawodnościowe, ułatwiające ustalenie dokładnie uzasadnionych danych eksploatacyjnych.

Karty perforowane z danymi statystycznymi do badań niezawodności będą stosowane przede wszystkim do nowo wprowadzanych urządzeń teletransmisyjnych i będą stopniowo wypierać dotychczasową statystykę uszkodzeń. Zalecane karty perforowane jest włączenie do badań warsztatów naprawczych, zwłaszcza z przemysłu, które dopiero mogą przeprowadzić dokładną analizę uszkodzenia, ponadto zaś karty perforowane umożliwiają obróbkę danych za pomocą maszyn matematycznych. Należy przy tym jeszcze zbadać, w jakiej mierze inne informacje z eksploatacji mogą być objęte tym postępowaniem.

Przy prawidłowym i konsekwentnym prowadzeniu powyższego postępowania będzie można uzyskać dalsze polepszenie pewności pracy sieci telekomunikacyjnej oraz zmniejszenie nakładów na konserwację i naprawy. Poza tym wykazanie dobrej niezawodności służy przemysłowi jako ważny argument w eksporcie, gdyż za granicą coraz częściej podaje się dane dotyczące niezawodności nowych urządzeń.

WYKAZ LITERATURY

1. Hiller G.: Zuverlässigkeitsarbeiten im Industriezweig Nachrichten- und Messtechnik. INT Information Berlin. 1967 nr 3, s. 27.
2. Honoki M. i in.: New coaxial cable system (CP-4M Tr system) for practical use. Rev. Electr. Commun. Lab. 1965 t. 13 nr 5/6, s. 317-336.
3. Hummitzsch P.: Zuverlässigkeit von Systemen. VEB Verlag Technik, Berlin. 1965.
4. Lörcher O.: Vollaussfall und Driftverhalten von einigen passiven Bauelementen. Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellungen. Verlag Oldenburg, München 1967 zesz. 9, s. 27-56.
5. Weinmann G.: Die Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente. Betriebserfahrungen über die Ausfallraten von Bauelementen in nachrichtentechnischen Geräten und Anlagen. NTZ 1963 t. 16 nr 11, s. 578-580.
6. Anlagen, Systeme und Geräte der Informationstechnik. Qualitätsbewertungsmerkmale. DAMW, Berlin, 1967.
7. Arbeitsblätter für Zuverlässigkeitsarbeiten. Institut für Nachrichtentechnik, Berlin, 1967.
8. Zuverlässigkeit - Erfassung des Einsatzverhaltens von Erzeugnissen. VVB-Standard RFT-NM 153000, styczeń 1967.
9. Systeme der "Übertragungstechnik, Ermittlung und Beurteilung der Zuverlässigkeit. DAMW, Berlin, 1968.

NIEZAWODNOŚĆ KABLI TELEKOMUNIKACYJNYCH

Opracował C. Niewiadomski według książki
Gurevič A.S., Kurbatov N.D.: Nadežnost'
kabelej svjazi. Izd. Svjaź, Moskwa 1968^{x)}

1. WSTĘP

Współczesne telekomunikacyjne linie kablowe służą nie tylko do transmisji telefonicznej i telegraficznej, lecz również do transmisji telewizyjnej, radiofonicznej i fototelegraficznej oraz do teleinformatyki i ostatnio do automatycznego sterowania procesami produkcyjnymi za pomocą telewizji. Linie te pracują obecnie przeważnie w szerokim pasmie częstotliwości, co umożliwia wykorzystanie kabli o małej liczbie par do transmisji sygnałów torami o wielkiej liczbie kanałów.

Takie wykorzystywanie kabli i różnorodność transmisji wymagają jednak znacznego zwiększenia wymagań odnośnie ich niezawodności, czyli zapewnienia pracy bez przerw w całym okresie eksploatacji, gdyż uszkodzenie tylko jednego toru powoduje przerwę transmisji w dziesiątkach, setkach lub nawet tysiącach kanałów. W związku z tym właśnie, poza kontrolą oporu pętli, oporu izolacji, sprzężeń pojemnościowych i szczelnej powłoki, łatwą do prze-

^{x)} W opracowaniu uwzględniono także artykuł Bunin D.A.: Nadežnost' kabelej dalnej svjazi. Avtomat. Telemech. Svjaź' 1965 t. 9 nr 10, s. 1-4.

przewodzenia i stosowaną do kabli małej częstotliwości, wprowadzono obecnie dodatkowe pomiary, na przykład tłumienności przenikowej, sprzężeń elektromagnetycznych, zależności tłumienności od częstotliwości, niejednorodności toru itd., które należy tak dobierać, aby przy minimalnym koszcie pomiarów można było uzyskać wyniki umożliwiające wiarogodną ocenę kabla pod względem niezawodności.

Niezawodność eksploatacyjna jest jedną z najważniejszych charakterystyk kabli, mającą nie mniejsze znaczenie niż własności mechaniczne i elektryczne, ustalone warunkami technicznymi. Niezawodność ta, w najszerszym ujęciu, charakteryzuje bowiem kompleksowo wytrzymałość mechaniczną, zabezpieczenie przed zakłóceniami, stabilność własności mechanicznych i elektrycznych, podatność do montażu i napraw oraz trwałość przy różnych występujących w praktyce warunkach układania, montażu i eksploatacji. Dlatego też stosunkowo ważne jest liczbowe wyrażanie niezawodności, które umożliwia ocenę prawidłowości budowy kabla nie tylko po jego wykonaniu, lecz również przy opracowywaniu konstrukcji kabla, co następnie umożliwia ocenę pod tym względem istniejących i nowo projektowanych telekomunikacyjnych linii kablowych.

2. ZAGADNIENIA OGÓLNE NIEZAWODNOŚCI TELEKOMUNIKACYJNYCH LINII KABLOWYCH

Oszacowanie niezawodności jest niezbędne nie tylko dla oceny pracujących lub zaprojektowania nowych linii

kablowych, lecz również dla kontroli wyprodukowanych kabli. Niezawodność linii kablowych oszacowuje się przy tym drogą zbierania i obróbki matematycznej danych statystycznych z eksploatacji o liczbie, charakterze i przyczynach uszkodzeń, co wymaga rozwiązania różnych zagadnień tylko natury organizacyjnej. Znacznie bardziej skomplikowane i właściwie jeszcze nierozwiązane jest natomiast zagadnienie kontroli niezawodności wyprodukowanych kabli, którą można oszacować drogą badań w warunkach laboratoryjnych i poligonowych, możliwie zbliżonych do warunków eksploatacyjnych, lub też drogą badań w warunkach eksploatacyjnych.

Przy badaniach niezawodności kabli nowego typu należy korzystać ze wszystkich powyższych metod badań, stosując w dodatku metody przyspieszone wobec wymaganego od kabli czasu eksploatacji do 30 lat lub więcej. Opracowanie metod badań przyspieszonych jest jednak zadaniem skomplikowanym, wymagającym jeszcze studiów, zwłaszcza pod względem korelacji wyników badań przyspieszonych i badań w warunkach eksploatacyjnych.

Zgodnie z normami radzieckimi pod pojęciem niezawodności rozumie się własność systemu, urządzenia lub elementu, uwarunkowaną ich bezawaryjnością, trwałością i podatnością na naprawę oraz zabezpieczającą utrzymanie wskaźników eksploatacyjnych w wymaganych granicach, czyli, uogólniając, zdolność zachowania niezbędnej jakości w określonych warunkach i czasie eksploatacji. Ilościowo można tę własność wyrażać iloczynem prawdopodobieństwa utrzymania się w stanie sprawności i współczynnika gotowości.

Pod pojęciem trwałości rozumie się z kolei właściwość utrzymania sprawności do pracy obiektu w określonych warunkach eksploatacyjnych do momentu zniszczenia lub momentu niecelowości albo nieekonomiczności dalszego użytkowania, a pod pojęciem bezawaryjności - ciągle utrzymywanie zdolności do pracy bez uszkodzeń w określonych warunkach eksploatacyjnych. Podatność na naprawę charakteryzuje natomiast możliwość szybkiego przeprowadzania napraw i remontów profilaktycznych, czyli szybkiego zapobiegania uszkodzeniom oraz szybkiego ich znajdowania i usuwania.

Uszkodzenie linii kablowej lub kabla jest to stan, w którym zaczynają one całkowicie lub częściowo nie spełniać swoich funkcji, czyli, inaczej mówiąc, zdarzenie polegające na przejściu ze stanu sprawności w stan niesprawności (przerwa transmisji). Uszkodzenia mogą być nagle (nieoczekiwane), jak na przykład uszkodzenie przy robotach ziemnych, wskutek osiadania gruntu, uderzeń piorunów itp., lub też stopniowe w wyniku procesów starzenia i zużycia. Pierwsze uszkodzenia mają charakter losowy i są niezależne od czasu eksploatacji kabla, podczas gdy drugie uszkodzenia mają przebieg regularny i przeważnie przewidywany, obydwa zaś rodzaje uszkodzeń są zdarzeniami wzajemnie niezależnymi, które mogą być oszacowane oddzielnymi wskaźnikami niezawodności. Przeciwnym pierwszym uszkodzeniom zapobiega się, mimo ich charakteru losowego, przez prawidłowy wybór konstrukcji kabla, właściwy sposób jego układania i organizację służby eksploatacyjnej.

Pod względem skutków odnośnie sprawności odróżnia się uszkodzenia całkowite i częściowe, z których uszkodzenia całkowite powodują przerwę transmisji we wszystkich torach linii, przeciwnie do uszkodzeń częściowych, w przypadku których istnieje możliwość częściowego korzystania z linii. Natomiast pod względem czasu trwania uszkodzeń można je podzielić na chwilowe (przemijające) i trwałe, z których pierwsze są wynikiem zakłóceń przez obce źródła, na przykład stacje radiowe, urządzenia elektroenergetyczne i in.

Poza uszkodzeniami w liniach kablowych mogą występować wady, w przypadku których linie, nie spełniając przynajmniej jednego z ustalonych dla nich wymagań, mogą jednak pracować. Wady nie powodują więc przerw transmisji, lecz pogarszają eksploatację i tym samym niezawodność linii (zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia).

3. ZASADNICZE CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA NIEZAWODNOŚĆ TELEKOMUNIKACYJNYCH LINII KABLOWYCH

3.1. Uwagi ogólne

Czynniki wpływające na niezawodność linii kablowych można podzielić umownie na czynniki wewnętrzne i zewnętrzne. Do czynników wewnętrznych zalicza się czynniki zależne od przyczyn wynikających z procesu produkcyjnego kabli oraz z projektowania, montażu i eksploatacji linii kablowej, a do czynników zewnętrznych - czynniki

nie związane z procesem produkcyjnym i eksploatacją kabli, jak na przykład czynniki klimatyczne, pioruny itp. Wielkość wpływu czynników zewnętrznych jest jednak w sposób istotny zależna od budowy i technologii produkcji kabli oraz od projektowania, budowy i eksploatacji linii kablowych.

Ponadto czynniki wpływające na niezawodność linii kablowych można podzielić na czynniki konstrukcyjno-produkcyjne, związane z opracowaniem i wykonaniem kabli, oraz na czynniki eksploatacyjne, do których zalicza się m.in. czynniki zewnętrzne.

Czynniki wewnętrzne mogą być negatywne i pozytywne. I tak wybór konstrukcji kabla najbardziej korzystnej w warunkach jego pracy, wprowadzenie właściwie zorganizowanej służby eksploatacyjnej, wysokie kwalifikacje personelu eksploatacji itp. są to czynniki wpływające pozytywnie na niezawodność linii kablowych. Czynniki negatywne i pozytywne można zestawić jak niżej.

A. Czynniki wpływające ujemnie na niezawodność linii kablowych

1. Czynniki wewnętrzne

1.1. Czynniki produkcyjne

Wady budowy kabla

Mała kultura produkcji

Niedostateczna kontrola jakości produkcji

1.2. Czynniki eksploatacyjne

Nieprawidłowości budowy linii (m.in. wady montażu, jak złe łączenie i izolowanie żył, złe lutowanie, wadliwe połączenie powłok)
Wadliwa konserwacja

2. Czynniki zewnętrzne

2.1. Obciążenia mechaniczne

Sily rozciągające

Wygięcia

Drgania

Ścieranie

Uszkodzenia przez obce jednostki (roboty ziemne/.

2.2. Starzenie

2.3. Czynniki klimatyczne

Wilgoć

Środowiska agresywne (korozja chemiczna, korozja elektrolityczna)

Temperatura

2.4. Czynniki biologiczne

Pleśnie

Owady

Gryzonie

2.5. Czynniki elektryczne

Pioruny

Stacje radiowe dużej mocy

Urządzenia elektroenergetyczne

B. Czynniki wpływające dodatnio na niezawodność linii kablowych

1. Polepszenie niezawodności

1.1. W produkcji

Dobór konstrukcji kabla

Kontrola w toku produkcji

Szkolenie kadr

1.2. W eksploatacji

Organizacja eksploatacji

Stała kontrola stanu kabli

Profilaktyka

2. Polepszenie podatności na naprawę

2.1. Dobór materiałów i konstrukcji kabli

2.2. Szkolenie personelu eksploatacji

3.2. Przyczyny uszkodzeń telekomunikacyjnych kabli dalekosiężnych

Według danych statystycznych przestoje łączy wskutek uszkodzeń samych kabli, wyrażone w kanałogodzinach, są większe procentowo niż przestoje wskutek uszkodzeń urządzeń stacyjnych. Ogólny obraz o przyczynach tych uszkodzeń przedstawia tabl. 1, która dotyczy kabli dalekosiężnych opancerzonych o powłoce ołowianej, według danych statystycznych z kilku lat z ZSRR i innych krajów.

T a b l i c a 1

Przyczyny uszkodzeń kabli telekomunikacyjnych
dalekosiężnych

Przyczyny uszkodzeń	Ilość uszkodzeń %
Wady produkcyjne	5 - 6
Wady montażu	8 - 10
Uszkodzenia mechaniczne (wskutek robót ziemnych)	50 - 60
Nieprawidłowa eksploatacja	3 - 4
Korozja	5 - 8
Przebicie izolacji lub powłoki prądem wysokiego napięcia, w tym przez pioruny	7 - 8
Przemieszczanie się i nacisk gruntu	5 - 6
Drgania	2 - 4
Uszkodzenia spowodowane gryzoniami	2 - 3
Starzenie	2 - 3
Inne	2 - 4

3.3. Obciążenia mechaniczne

Podczas układania, montażu i eksploatacji kable mogą podlegać wyginaniu, rozciąganiu, drganiom i ścieraniu.

Wyginaniu kable podlega co najmniej dwa razy, a mianowicie przy układaniu - w urządzeniu do układania kabli oraz przy montażu - w rowie kablowym. Natomiast rozciąganiu kable podlega podczas wciągania do kanalizacji kablowej, a niekiedy także przy zmechanizowanym układa-

niu jego w ziemi, ponadto zaś naprężenia rozciągające kable, połączone z podłużnym przemieszczaniem i ich tarciem, powodują zmiany temperatury gruntu. Naprężenia rozciągające mogą być spowodowane również ugięciami i naciskiem gruntu pod drogami o intensywnym ruchu pojazdów ciężarowych, w wyniku czego uszkodzeniu ulegają zarówno kable ułożone bezpośrednio w ziemi, jak i w kanalizacji. W Japonii 24% uszkodzeń kabli w 1958-1962 r. spowodowane były właśnie tą ostatnią przyczyną uszkodzeń [1].

Wskutek ugięć gruntu następuje najczęściej zgniecenie powłoki bezpośrednio w miejscu przylutowania mufy do powłoki, przemieszczenie muf kablowych i roztłoczenie powłoki. Podczas ugięć gruntu następuje przy tym nie tylko przemieszczenie samego kabla, lecz również żył w kablu i mufach, wskutek czego spęszczają z nich tulejki izolacyjne, pękają połączenia żył i powstają niedopuszczalne niejednorodności własności par współosiowych. Im większy jest ruch pojazdów i ciężar przewożonych ładunków, tym większe zmiany powstają w kablu, ponadto zaś zależą one od spójności gruntu i giętkości kabla.

Drgania i uderzenia występują najczęściej przy transporcie kabli, a same drgania również podczas eksploatacji kabli, ułożonych na mostach, pod szosą lub pod torrem kolejowym. Obciążenia te powodują uszkodzenia powłoki kabla oraz zmiany jego własności elektrycznych.

3.4. Czynniki klimatyczne

Szkodliwy wpływ czynników klimatycznych na kable ziemne może przejawiać się przede wszystkim przy zmianach temperatury otoczenia, wilgotności i zawartości szkodliwych składników gruntu. I tak, na przykład, w europejskiej części ZSRR zmiany temperatury w ciągu roku na głębokości 0,8-1,0 m wynoszą 20-25°.

W wyniku periodycznych, wielokrotnych, cyklicznych zmian temperatury w kablu zachodzą zmiany wymiarów jego materiałów, co z kolei powoduje różnorodne odkształcenia elementów budowy kabla oraz, na przykład, zmianę wskutek tego położenia żył w rdzeniu kabla symetrycznego i w następstwie dodatkową asymetrię torów, wpływającą niekorzystnie na sprzężenia. W miejscach spoin lutowanych wytwarzają się natomiast przy zmniejszaniu się temperatury naprężenia rozciągające, a ponieważ wytrzymałość na rozciąganie spoiwa jest stosunkowo mała, przy cyklicznych nagrzewaniach i oziębieniach może w końcu nastąpić pęknięcie i zniszczenie spoiny, gdy ukształtowanie i technologia połączenia są nieodpowiednie. Niskie temperatury wpływają niekorzystnie także na tworzywa sztuczne, powodując pogorszenie ich udarności i własności plastycznych, co należy uwzględnić zwłaszcza przy transporcie i układaniu kabli o powłoce z tworzyw termoplastycznych podczas mrozu. W kablach opancerzonych występuje zaś przy wyginaniu w niskich temperaturach pęknięcie i odrywanie się osłon ochronnych z żyty i

polew, wskutek czego pogarsza się niezawodność kabli.

Obniżenie temperatury może spowodować ponadto zwiększenie wilgotności względnej wewnątrz kabli o powłoce z tworzyw sztucznych wskutek skraplania się pary wodnej, która przedyfundowała do ośrodka kabla. To zaś z kolei może spowodować zmianę parametrów transmisyjnych oraz ewentualnie korozję żył i ekranów. Poza tym zmiany temperatury powodują z zasady zmianę własności elektrycznych kabli, w których wraz ze zwiększaniem się temperatury następuje zmniejszenie oporności izolacji żył przy prądzie stałym, zwiększenie oporu żył, zwiększenie tłumienności itd. Dlatego też przy badaniach i w eksploatacji kabli trzeba uwzględniać współczynniki temperaturowe, szczegółowo rozpatrzone przez N.D. Kurbatowa i P.A. Frołowa [2].

3.5. Czynniki biologiczne

Do czynników biologicznych wpływających na uszkodzenia kabli można zaliczyć gryzonie, owady i pleśnie.

Wśród tych czynników najniebezpieczniejsze są gryzonie, gdyż nawet w przypadku opancerzonych kabli o powłoce ołowianej powodują one ponad 2% uszkodzeń kabli (tabl. 1). Znacznie więcej uszkodzeń powodują gryzonie w przypadku kabli o powłoce z tworzyw sztucznych, gdyż, na przykład w niektórych rejonach ZSRR, najczęściej występującymi uszkodzeniami kabli telekomunikacyjnych większych są właśnie uszkodzenia spowodowane przez gryzonie, niszczące zwłaszcza kable o powłoce z polwinitu.

Pleśnie działają przede wszystkim na zewnętrzne osłony ochronne z juty kabli opancerzonych, wskutek czego ulega następnie zniszczeniu opancerzenie w wyniku korozji.

3.6. Czynniki elektryczne

Do czynników elektrycznych powodujących uszkodzenia kabli należy zaliczyć pioruny oraz urządzenia elektroenergetyczne i stacje radiowe dużej mocy znajdujące się w pobliżu trasy kabla. Uszkodzenia powodowane tymi czynnikami wynoszą średnio do 8%, a niekiedy, jak na przykład w Szwecji w 1959 r., nawet ponad 30%. Poza uszkodzeniami urządzenia elektroenergetyczne, jak zelektryfikowane linie kolejowe i napowietrzne linie elektroenergetyczne, mogą powodować także zakłócenia, wskutek których następuje w części lub we wszystkich kanałach kablowych przerwa transmisji lub pogorszenie transmisji.

Wpływ tych czynników oraz środki zaradcze przed ich wpływem są omówione szczegółowo w specjalnych opracowaniach [3-5].

3.7. Starzenie

Starzenie, czyli stopniowe, nieodwracalne zmiany własności elektrycznych i mechanicznych kabli, powoduje ich częściowe lub całkowite uszkodzenie po przekroczeniu przez te własności granic dopuszczalnych przez normy. Zmiany te są powodowane przez czynniki zewnętrzne,

przede wszystkim temperaturowe, oraz przez starzenie materiałów kabla.

Starzeniu podlegają przede wszystkim powłoki kabli. I tak w polwinicie może występować ulatnianie się albo utlenianie plastyfikatora oraz rozkład polichloroku winylu, w wyniku czego materiał staje się kruchy i pęka, a poza tym pogarszają się jego odporność na niskie temperatury i własności izolacyjne. Procesy te przyspieszają czynniki mechaniczne, jak drgania i naprężenia rozciągające, a także wzrost temperatury i światło słoneczne. Dlatego też starzenie kabli ziemnych przebiega bardzo powoli.

Podobne czynniki wpływają na starzenie polietylenu, na który działają poza tym różne substancje chemiczne, m.in. mydła, kwasy tłuszczowe, alkohole i in., powodujące jego pękanie. I tak na przykład pękanie powłoki polietylenowej stwierdzono po nasmarowaniu mydłem w celu zmniejszenia tarcia przy wciąganiu do kanalizacji.

Promieniowanie słoneczne przyspiesza starzenie również osłon z juty, zmniejszając znacznie wytrzymałość na rozciąganie przędzy jutowej. Ciepło i wilgoć sprzyjają natomiast rozrostowi na jucie pleśni.

Starzeje się także papier kablowy. W wyniku jego starzenia następuje pogorszenie własności dielektrycznych i tym samym parametrów elektrycznych kabli.

Zjawisku starzenia podlegają poza tym kondensatory i oporniki stosowane do symetryzacji kabli, co może spowodować pogorszenie jej efektu.

4. WSKAŹNIKI LICZBOWE NIEZAWODNOŚCI

4.1. Uwagi wstępne

Wskaźniki liczbowe niezawodności są niezbędne do oceny oraz porównywania rozmaitych typów kabli i eksploatowanych linii kablowych, a także do porównywania linii kablowych z innymi systemami łączności oraz do różnych innych celów, związanych z analizą i szacowaniem niezawodności. Ponieważ niezawodność jest ściśle związana ze zdarzeniami losowymi, wskaźniki charakteryzujące niezawodność mają więc charakter probabilistyczny, a ich wartości liczbowe mogą być określone tylko w wyniku obróbki statystycznej danych z licznych badań poszczególnych wyrobów kablowych względnie też danych z eksploatacji, dotyczących ilości, rodzaju i przyczyn uszkodzeń linii kablowych. Niezawodności, zależnej od wielu czynników, nie można przy tym zwykle oszacować jednym tylko wskaźnikiem, wobec czego trzeba najczęściej ustalać różne wskaźniki, zależne od warunków pracy wyrobu albo systemu.

4.2. Wskaźniki eksploatacyjne jakości pracy telekomunikacyjnych linii kablowych

Do scharakteryzowania jakości pracy telekomunikacyjnych linii kablowych stosuje się obecnie trzy podstawowe wskaźniki: gęstość uszkodzeń, średni czas trwania uszkodzenia oraz czas przerwy transmisji.

Pod gęstością uszkodzeń rozumie się liczbę uszkodzeń m występujących w linii o długości 100 km w ciągu roku.

$$m = \frac{n}{L} 100, \quad (1)$$

przy czym:

n - liczba uszkodzeń w całej linii w ciągu roku,

L - długość linii, km.

W przypadku linii dwukablowych za długość należy przyjmować długość trasy, a nie dwukrotnie od niej większą długość ułożonych kabli.

Średni czas trwania uszkodzenia $t_{\text{śr}}$, czyli średni czas usuwania uszkodzenia, oblicza się natomiast z poniższego wyrażenia

$$t_{\text{śr}} = \frac{\sum_{k=1}^n t_k}{n}, \quad (2)$$

w którym

t_k - czas od wystąpienia do usunięcia k-go uszkodzenia,

n - liczba uszkodzeń w roku,

a przerwy transmisji podaje się w kanałogodzinach według wyrażenia

$$K = \sum_{i=1}^{n'} \tau_i a_i, \quad (3)$$

w którym

τ_i - czas trwania i-tej przerwy transmisji, h,

a_i - liczba uszkodzonych kanałów w czasie i-tej przerwy,

n - liczba przerw transmisji w ciągu roku.

W razie konieczności powyższe wskaźniki można odnosić do dowolnych, mniejszych okresów czasu, a mianowicie, na przykład, kwartału lub miesiąca, co ułatwia dokładniejsze wyjaśnienie przyczyn uszkodzeń.

Wyżej podane wskaźniki umożliwiają porównanie jakości pracy linii kablowych w poszczególnych latach oraz porównywanie jakości pracy poszczególnych łączy między sobą, a w wyniku analizy rodzaju i przyczyn uszkodzeń - przedsięwziąć odpowiednie środki zaradcze. Wskaźniki te nie nadają się jednak do oceny niezawodności kabli w odcinkach fabrykacyjnych, którą można określić tylko przez badanie poszczególnych odcinków fabrykacyjnych. Niedogodne są one także do oceny niezawodności całych zestrojów, z uwzględnieniem urządzeń stacyjnych, gdyż za pomocą tych wskaźników trudno jest ustalić niezawodność stacji wzmacniakowych, urządzeń końcowych itp. Dlatego też do szacowania niezawodności linii kablowych należy posługiwać się niżej omówionymi wskaźnikami.

4.3. Średni czas poprawnego działania oraz średni czas pracy między uszkodzeniami

Niezawodność wyrobów tego samego typu można określać średnim czasem poprawnego działania T_0 , który oblicza

się z danych statystycznych z wyrażenia

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (4)$$

gdzie

t_i - czas poprawnego działania i -tego wyrobu do pierwszego uszkodzenia,

N - łączna liczba badanych wyrobów tego samego typu.

Im większa jest N , tym dokładniejsze jest określenie T_0 . I tak w celu uzyskania wartości T_0 o dokładności co najmniej $\pm 10\%$ liczba badanych wyrobów nie może być mniejsza niż 10.

Przeciwie do oceny niezawodności poszczególnych wyrobów kablowych niezawodności linii kablowej nie ocenia się średnim czasem poprawnego działania do pierwszego uszkodzenia, ponieważ po każdym uszkodzeniu linię naprawia się, po czym może ona normalnie pracować. Dlatego też do scharakteryzowania jej niezawodności korzysta się z innego wskaźnika, a mianowicie ze średniego czasu pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami, wyrażanego zależnością

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (5)$$

w której

t_i - czas poprawnej pracy linii między (i-1) oraz i-tym uszkodzeniem,

n - liczba uszkodzeń w ustalonym okresie czasu.

W przypadku porównywania niezawodności różnego typu linii kablowych, na przykład symetrycznych i współosiowych, z kabli o powłoce ołowianej i o powłoce z tworzyw sztucznych itp., może występować konieczność korzystania z danych statystycznych z kilku linii tego samego typu. W takim przypadku T_0 określa się z zależności

$$T_0 = \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^{n_k} t_{ik}}{\sum_{k=1}^M n_k}, \quad (6)$$

w której

t_{ik} - czas pracy między kolejnymi uszkodzeniami k-tej linii,

n_k - liczba uszkodzeń k-tej linii,

M - liczba linii tego samego typu.

Im większa jest liczba linii, tym oczywiście dokładniejszy jest średni czas pracy między uszkodzeniami.

Obliczone wartości ostatniego wskaźnika umożliwiają ocenę średniego czasu, będącego do dyspozycji persone-

iu eksploatacji dla przeprowadzenia prac profilaktycznych.

Trzeba przy tym zaznaczyć, że liczba uszkodzeń w określonym przedziale czasu i innych jednakowych warunkach zależy od długości linii kablowej, a mianowicie jest tym większa, im większa jest długość linii. Dlatego też przy porównywaniu powyższego wskaźnika różnych linii trzeba otrzymane wartości wskaźnika odnosić do linii jednakowej długości.

4.4. Intensywność uszkodzeń

W przypadku systemów lub elementów nienaprawialnych intensywność ich uszkodzeń jest to stosunek liczby wyrobów uszkodzonych w jednostce czasu do liczby wyrobów o poprawnym działaniu w danym momencie czasu

$$\lambda = \frac{\Delta N_i}{(N_0 - N_i) \Delta t_i} \quad (7)$$

przy czym

ΔN_i - liczba wyrobów uszkodzonych w przedziale czasu Δt_i ,

N_0 - początkowa liczba wyrobów poddanych badaniom,

N_i - łączna liczba wyrobów uszkodzonych przed początkiem rozpatrywanego przedziału czasu.

W przypadku systemu naprawialnego, jakim jest linia kablowa, pod intensywnością uszkodzeń rozumie się natomiast liczbę uszkodzeń w jednostce czasu, to znaczy

$$\lambda = \frac{n}{\Delta t}, \quad (8)$$

przy czym

n - liczba uszkodzeń w określonym przedziale czasu,

Δt - wielkość przedziału czasu, wyrażona w przyjętych jednostkach (rok, miesiąc, doba, godzina).

Intensywność uszkodzeń jest wielkością zależną od czasu, przy czym, podobnie jak w wielu innych przypadkach, funkcja intensywności uszkodzeń linii kablowych wykazuje okres wstępny o zwiększonej intensywności uszkodzeń, okres właściwy o praktycznie stałej intensywności uszkodzeń oraz okres zużycia o ponownie zwiększonej intensywności uszkodzeń. Czas okresu wstępnego zależy od jakości linii oraz jej obsługi i może wynosić nawet do dwóch lat.

Intensywność uszkodzeń wyraża się liczbą uszkodzeń na 1 h albo w procentach na 1000 h

$$\lambda (\% \text{ na } 1000 \text{ h}) = \lambda \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{h}$$

4.5. Prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności

Pod pojęciem prawdopodobieństwa utrzymania się w stanie sprawności rozumie się prawdopodobieństwo nieprzerwanej pracy, to znaczy pracy bez uszkodzeń, w określonym czasie i w określonych warunkach eksploatacyjnych. Prawdopodobieństwo to można określić statystycznie z wyników badań N_0 jednakowych wyrobów w okresie czasu t , stosując do obliczeń zależność

$$P(t) = \frac{N_0 - N_t}{N_0}, \quad (9)$$

w której

N_0 - początkowa liczba badanych wyrobów,

N_t - liczba wyrobów uszkodzonych podczas badań w okresie czasu t .

Ponieważ uszkodzenie jest zdarzeniem losowym, prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności musi spełniać nierówność

$$0 \leq P \leq 1 \quad (10)$$

i wyraża się w postaci ułamka dziesiętnego lub procentu, który jest tym większy, im bardziej niezawodny jest wyrób, oraz tym mniejszy, im większy jest czas t . W przypadku linii kablowej, będącej systemem naprawialnym, czas t dotyczy przedziału między dwoma kolejnymi uszkodzeniami, a nie czasu utrzymywania się w stanie sprawno-

ści do wystąpienia pierwszego uszkodzenia.

W okresie normalnej eksploatacji, gdy $\lambda = \text{const}$, prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności można wyrazić zależnością

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (11)$$

przy czym t jest przedziałem czasowym, dla którego ustala się $P(t)$.

Zaletą powyższego wskaźnika jest możliwość pogładowego przedstawienia zmian niezawodności w funkcji czasu.

4.6. Współczynnik gotowości

Samo prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności nie jest jednak wystarczające do całkowitego scharakteryzowania niezawodności linii kablowej, ponieważ jej niezawodność zależy także od czasu niezbędnego do usunięcia uszkodzeń. Dlatego też trzeba wprowadzić jeszcze jeden wskaźnik, współczynnik gotowości, który przedstawia stosunek łącznego czasu pracy bez uszkodzeń do sumy tego czasu i łącznego czasu przestoju w tym samym okresie eksploatacji, niezbędnych do wykrycia i usunięcia uszkodzeń. Tak więc współczynnik gotowości, przedstawiający prawdopodobieństwo znajdowania się linii kablowej w stanie sprawności w dowolnym momencie czasu, wyraża się zależnością

$$K_g = \frac{t_e - t_n}{t_e} = \frac{t}{t + t_n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{wui}}, \quad (12)$$

w której

t - łączny czas sprawnej pracy w przyjętym przedziale czasu,

t_n - łączny czas napraw uszkodzeń w przyjętym przedziale czasu,

t_i - czas sprawnej pracy między $(i-1)$ i i -tym uszkodzeniem,

t_{wui} - czas wykrywania i usuwania i -tego uszkodzenia,

t_e - czas eksploatacji (czas kalendarzowy) dla którego określa się współczynnik gotowości

lub też zależnością

$$K_g = \frac{T_0}{T_0 + t_{n\text{sr}}}, \quad (13)$$

w której T_0 jest określony zależnością (5), a $t_{n\text{sr}}$ jest to średni czas napraw uszkodzeń.

Do oceny porównawczej pracy personelu eksploatacji można korzystać poza tym ze średniego czasu napraw linii kablowych tego samego typu, obliczanego z zależności

$$t_{n\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ni}}{n} \quad (14)$$

w której n jest to liczba uszkodzeń w określonym czasie.

Należy jednocześnie zaznaczyć, że czas napraw zależy nie tylko od konstrukcji i typu kabla, lecz także w znacznej mierze od wykształcenia i doświadczenia personelu obsługi eksploatacyjnej, umiejętności wykrywania i usuwania przez niego uszkodzeń, dysponowania przyrządami pomiarowymi, środkami transportu itp. Dlatego też ze współczynnika gotowości można wnioskować o eksploatacyjnych zaletach linii i gotowości jej do pracy, przy czym współczynnik gotowości można zwiększyć przez zmniejszenie liczby uszkodzeń lub przez zmniejszenie czasu napraw. Stąd właśnie wynika, że wraz ze środkami zmniejszającymi możliwość uszkodzeń linii, jak na przykład kontrolą ciśnieniową kabli, trzeba stosować środki sprzyjające szybkiemu usuwaniu uszkodzeń, jak sposoby szybkiego wykrywania miejsca uszkodzenia, wyposażenie personelu eksploatacji w bardziej doskonałe przyrządy pomiarowe, środki transportu do wyjazdów do miejsca uszkodzenia itp.

Jeszcze lepiej charakteryzuje niezawodność obiektów naprawialnych, jakimi są linie kablowe, iloczyn wskaźników $P(t)$ i K_g

$$H = P(t) K_g \quad (15)$$

nazywany niezawodnością ogólną oraz brak niezawodności obiektu, czyli zawodność

$$\Delta H = 1-H \quad (15')$$

4.7. Współzależność między różnymi wskaźnikami niezawodności

Rozpatrzone wyżej wskaźniki niezawodności są wzajemnie zależne, dzięki czemu, znając jeden wskaźnik, można obliczyć inne. I tak do obliczania niezawodności telekomunikacyjnych linii kablowych można korzystać z danych statystycznych z eksploatacji, dotyczących tylko gęstości i średniego czasu trwania uszkodzeń.

Średni czas pracy między kolejnymi uszkodzeniami w ciągu roku linii kablowej o długości 100 km, przyjmując, że rok ma 8760 h, można mianowicie przedstawić zależnością

$$T_o = \frac{8760 - mt_{sr}}{m}, h \quad (16)$$

Natomiast intensywność uszkodzeń, odniesiona do roku i linii o długości 100 km, odpowiada gęstości uszkodzeń, czyli

$$\lambda \left(\frac{1}{\text{rok}} \right) = m$$

a współczynnik gotowości, odniesiony do jednego roku eksploatacji, wyraża się zależnością

$$K_g = \frac{8760 - \sum_{i=1}^n t_i}{8760} \quad (17)$$

Znając λ , można z kolei obliczyć z zależności (11) prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności.

Gdy intensywność uszkodzeń jest w przybliżeniu stała, a przedział czasu Δt , w którym zaobserwowano n uszkodzeń, można przedstawić sumą czasów t_i , odpowiadających przedziałom czasów między uszkodzeniami

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n t_i,$$

wówczas zależność (8) można przedstawić z dostatecznym przybliżeniem w poniższej postaci

$$\lambda \approx \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (18)$$

skąd, zgodnie z zależnością (5),

$$\lambda \approx \frac{1}{T_0} \quad (19)$$

Współczynnik gotowości można z kolei określić z zależności (13), podczas gdy prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności i średni czas pracy między kolejnymi uszkodzeniami są, jak to widać z zależności (11) i (19), związane wyrażeniem

$$P(t) = e^{-t/T_0}, \quad (20)$$

jeżeli prawdopodobieństwo to podlega prawu wykładniczemu.

Z ostatniego wyrażenia wynika, że prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności w czasie odpowiadającym średniemu czasowi pracy między kolejnymi uszkodzeniami wynosi

$$P(t = T_0) = e^{-1} \approx 0,37,$$

co oznacza, że linia kablowa tylko z pewnością 37% może przetrwać bez uszkodzeń przedział czasu równy T_0 .

Przy $t = 0,1 T_0$ otrzymuje się $P(t) = 0,9$, przy $t = 0,01 T_0$ $P(t) = 0,99$, a przy $t = 0,001 T_0$ $P(t) = 0,999$.

5. NIEZAWODNOŚĆ EKSPLOATACYJNA KOMUNIKACYJNYCH LINII KABLOWYCH

5.1. Elementy składowe telekomunikacyjnej linii kablowej

Przy obliczeniach niezawodności samych kabli linii kablowej można przyjąć w największym uproszczeniu, że każdy odcinek wzmacniakowy linii zawiera trzy zasadnicze, szeregowo połączone składniki: kabel, mufy i głowice. Powyższe składniki są w każdej linii kablowej i dlatego zostały zaliczone do zasadniczych.

Poza składnikami zasadniczymi, zależnie od przeznaczenia i typu linii, może ona mieć ponadto różne dodatkowe składniki, także wpływające w pewnej mierze na niezawodność eksploatacyjną. Do takich składników należą urządzenia do samoczynnej kontroli sprawności kabla podczas eksploatacji, urządzenia zabezpieczające kabel przed piorunami, urządzenia ochrony przed korozją, elementy symetryzujące, cewki pupinizacyjne, kanalizacja kablowa itd. oraz nawet słupki oznaczeniowo-pomiarowe, gdyż brak słupka lub zły słupek powodują dodatkowe trudności w wykryciu i usunięciu uszkodzenia, co z kolei zwiększa czas napraw i zmniejsza współczynnik gotowości. Wszystkie te składniki również muszą być uwzględniane przy oszacowywaniu niezawodności linii kablowej.

Oszacowanie to sprawia jednak trudności, wynikające z braku obecnie jakichkolwiek usystematyzowanych danych statystycznych o niezawodności większości powyższych urządzeń dodatkowych. Dlatego też ich wpływ na niezawodność można określić tylko pośrednio, przez porównywanie niezawodności całych linii z różnymi urządzeniami dodatkowymi (na przykład z urządzeniami kontroli ciśnieniowej, urządzeniami ochrony przed korozją itp.) oraz bez tych urządzeń.

5.2. Rola i znaczenie statystyki eksploatacyjnej

Do oszacowania niezawodności linii kablowej z dostateczną wiarogodnością należy zebrać i poddać obróbce matematycznej odpowiednią ilość danych statystycznych. Im

przy tym więcej linii kablowych będzie poddanych obserwacji oraz im większy będzie czas obserwacji, tym wiarogodniejsze będą otrzymane wyniki, jeżeli przy zbieraniu danych zostaną uwzględnione i zaznaczone wszystkie właściwości warunków pracy linii, jak na przykład charakterystyka gruntu, organizacja służby eksploatacji, obecność różnego rodzaju urządzeń dodatkowych itd. Dlatego też właściwa organizacja systemu zbierania, analizy i obróbki danych statystycznych jest zasadniczym warunkiem oszacowywania niezawodności eksploatacyjnej linii kablowych oraz możliwości przedsięwzięcia właściwych środków zaradczych przeciw uszkodzeniom.

Arkusze uszkodzeń powinny być możliwie proste i powinny zapewniać jednocześnie uzyskanie możliwie pełnej informacji o przyczynach, liczbie i rodzaju uszkodzeń. Za mały zakres lub niewiarogodność informacji czynią ją bowiem prawie nieużyteczną, podczas gdy za duży zakres może spowodować nieuzasadnione straty czasu na zbieranie i obróbkę wyników informacji, a nawet niemożność pełnej analizy tych wyników z powodu nadmiernego przeciążenia danymi.

Przy opracowywaniu arkuszy uszkodzeń jest stosunkowo ważne wiedzieć, jakimi metodami powinien posługiwać się personel eksploatacji w celu zapewnienia dokładności i wiarogodności danych o przyczynach uszkodzeń. Dlatego też nie ma sensu wyodrębniać takiego rodzaju uszkodzeń, których przyczyny nie można ustalić, i lepiej jest je objąć grupą uszkodzeń z nie ustalonych przyczyn. Arkusze nie powinny być skomplikowane, aby personel je

wypełniający nie mógł niewłaściwie interpretować arkuszy. Z tego też względu w arkuszach trzeba pozostawić dużo miejsca na rubrykę uwag, gdyż nie wszystkie występujące w praktyce przypadki można uprzednio sklasyfikować.

Na zbieranie i przekazywanie danych o liczbie, rodzaju i przyczynach uszkodzeń nie powinien wpływać system płac i premiowania personelu zatrudnionego przy zbieraniu i obróbce danych statystycznych. Istotne jest poza tym, aby dane wianogodne dotyczyły nie tylko uszkodzeń powodujących przerwy transmisji, lecz także tych, które są usuwane bez przerywania transmisji, ponieważ te ostatnie dane mają także ważne znaczenie dla osądu o jakości i niezawodności pracy linii.

Przy ocenie porównawczej różnych linii pod względem czasu przestoju łączy w kanałogodzinach trzeba krytycznie korzystać z danych statystycznych, aby uniknąć nieprawidłowych wniosków. I tak, na przykład, rozważmy dwie jednakowe linie kablowe o takiej samej długości, pracujące w systemie dwukablowym, z których w jednej wszystkie osiem torów pracują w systemie K-60 (czyli kabel ma 480 kanałów), podczas gdy w drugiej korzysta się tylko z sześciu torów (a więc tylko z 360 kanałów). Jeżeli w pierwszej linii wystąpi pięć uszkodzeń, każde o czasie trwania 2 h, a w drugiej - 6 uszkodzeń o tym samym czasie trwania, wtenczas łączny przestój łączy pierwszej linii będzie wynosić $480 \cdot 5 \cdot 2 = 4800$ kanałogodzin i w drugiej $360 \cdot 6 \cdot 2 = 4320$ kanałogodzin. Gdybyśmy więc oceniali linie tylko z liczby straconych kanałogodzin, oka-

załoby się, że gorszą niezawodność ma pierwsza linia, co jest niesłuszne, gdyż w rzeczywistości jest przeciwnie. Dlatego też przy ocenie niezawodności z kanałogodzin trzeba zawsze przyjmować największe możliwe obciążenie kabla przy danych urządzeniach, a więc w powyższym przypadku zwielokrotnienie kabla drugiej linii 480 kanałami, choćby nawet w rozpatrywanym okresie nie wszystkie kanały były wykorzystywane.

5.3. Dane statystyczne odnośnie uszkodzeń w poszczególnych sieciach kablowych

Według danych z literatury zagranicznej gęstość uszkodzeń opancerzonych kabli ziemnych w Szwajcarii w okresie 1927-1956 r. wynosiła 0,89 do 4,20, w Szwecji w okresie 1936-1959 r. - 0,25 do 2,83, a w NRF w okresie 1953-1960 r. - 6,0 do 6,9. Średni czas od wystąpienia uszkodzenia do przywrócenia transmisji wynosił zaś w Szwecji 3 do 20 h, średni czas od wystąpienia uszkodzenia do całkowitej jego likwidacji - 10 do 41 h i średni czas usuwania uszkodzeń nie powodujących przerw transmisji - 100 do 400 h. Należy przy tym przypuszczać, że powodem większej gęstości uszkodzeń w NRF jest objęcie statystyką także kabli okręgowych, których część może być zainstalowana na liniach napowietrznych.

Rozpatrując gęstości uszkodzeń kabli dalekosiężnych w Szwecji zależnie od sposobów ich zainstalowania, można stwierdzić z kolei, że największą gęstość uszkodzeń, wynoszącą 6,5 do 31,5, wykazują wskutek pęknięć między-

krystalicznych kabli napowietrzne, następnie gołe kabli układane w kanalizacji z drewna - 2,2 do 9,0 i najmniej-
szą kabli układane w kanalizacji z betonu - 0,5 do 5,4, wobec czego nie stosuje się obecnie kabli napowietrz-
nych i kanalizacji z drewna. Ciekawe jest przy tym, że gęstość uszkodzeń gołych kabli układanych w kanalizacji
betonowej jest w Szwecji większa niż gęstość uszkodzeń kabli opancerzonych układanych bezpośrednio w ziemi, co
potwierdzają także dane statystyczne z NRF (tabl. 2). Głównym miejscem uszkodzeń kabli ułożonych w kanalizacji
betonowej są studzienki kablów, gdzie gęstość uszko-
dzeń jest ponad dwukrotnie większa niż w przelotach mię-
dzy studzienkami.

Średnią wartość gęstości uszkodzeń kabli dalekosięż-
nych ziemnych opancerzonych w krajach zachodnioeuropej-
skich można przyjąć za równą 1,7, a intensywność uszko-
dzeń linii o długości 1 km - za równą $0,20 \cdot 10^{-5}/h$, pod-
czas gdy analogiczne wskaźniki dla kabli układanych w
kanalizacji betonowej wynoszą 2,63 i $0,3 \cdot 10^{-5}/h$, a dla
kabli napowietrznych 15,2 i $1,75 \cdot 10^{-5}/h$. Podobne dane
dotyczące kabli okręgowych i miejscowych, przedstawia
tabl. 3.

W ZSRR bardziej szczegółowe dane są znane tylko od-
nośnie linii kablów dalekosiężnych kolejowych, któ-
rych uszkodzenia rozpoczęto obejmować statystyką już w
1951 r. Średnia gęstość uszkodzeń tych kabli wynosi mia-
nowicie 1,2, a średnia intensywność uszkodzeń - $0,14 \cdot$
 $\cdot 10^{-5}/h$, przy czym należy zaznaczyć, że ten ostatni
wskaźnik zależy w dużej mierze od długości linii. I tak

T a b l i c a 2

Gęstość uszkodzeń kabli telekomunikacyjnych
w NRF w okresie 1957-1960 r.

Rodzaj kabla	Gęstość uszkodzeń kabli ułożonych	
	w kanalizacji	bezpośrednio w ziemi (kable opancerzone)
Kable miejscowe		
do 50 par	29,5	18,7
powyżej 50 par	26,0	15,4
Kable okręgowe	11,3	5,8
Kable dalekosiężne małej częstotliwości	8,7	5,1
Kable dalekosiężne współosiowe 5/18	7,2	2,5
Współczesne kable dalekosiężne wielkiej częstotliwości	3,9	2,0

intensywność uszkodzeń linii o długości do 10 km wynosi $0,48 \cdot 10^{-5}/h$, podczas gdy intensywność uszkodzeń linii o większej długości $0,14-0,15 \cdot 10^{-5}/h$.

Z innych danych, dotyczących linii dalekosiężnych eksploatowanych przez pocztę, wiadomo natomiast, że intensywność uszkodzeń kabli powodujących przerwy transmisji waha się w granicach $0,39 \cdot 10^{-5} - 0,17 \cdot 10^{-6}/h$ zależnie od rodzaju kabla oraz że intensywność wszystkich

Wskaźniki niezawodności kabli miejscowych i okręgowych

Rodzaj kabla	Intensywność uszkodzeń kabli, 1/h		
	ułożonych w kanałizacji	opancerzonych	ułożonych bezpośrednio w ziemi
Kable miejscowe			
do 50 par	$3,37 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-5}$	-
ponad 50 par	$2,97 \cdot 10^{-5}$	$1,76 \cdot 10^{-5}$	-
Kable okręgowe	$1,29 \cdot 10^{-5}$	-	$0,66 \cdot 10^{-5}$

uszkodzeń waha się w granicach $0,39 \cdot 10^{-5}$ - $0,35 \cdot 10^{-6}$ /h. Średni czas trwania przerwy transmisji wynosi zaś 3 do 12,2 h, a średni czas całkowitego usunięcia uszkodzenia 10 do 30,5 h.

5.4. Dane statystyczne odnośnie poszczególnego rodzaju uszkodzeń

Dane statystyczne różnych krajów odnośnie poszczególnego rodzaju uszkodzeń są trudno porównywalne ze względu na odmienną klasyfikację przyczyn uszkodzeń. I tak średnia gęstość poszczególnego rodzaju uszkodzeń kabli dalekosiężnych ziemnych kształtowała się w Szwecji w okresie 1948-1959 r. następująco:

wady produkcji i montażu kabli 0,16 (9,2%)

uszkodzenia przez pioruny i spowodowane urządzeniami elektroenergetycznymi	0,92	(52,8%)
uszkodzenia spowodowane czynnikami mechanicznymi	0,59	(33,9%)
uszkodzenia wskutek korozji	0,04	(2,3%)
uszkodzenia spowodowane gryzo- niami i innymi przyczynami	0,03	(1,8%)

podczas gdy w Szwajcarii, w okresie 1927-1957 r., podział procentowy gęstości poszczególnego rodzaju uszkodzeń kabli dalekosiężnych był poniższy (w %):

wady produkcji	5,2
wady montażu	11,2
uszkodzenia spowodowane robotami obcych instytucji	32,5
wady przy usuwaniu uszkodzeń	3,9
uszkodzenia spowodowane gryzo- niami	4,4
uszkodzenia wskutek korozji	25,2
uszkodzenia spowodowane pioru- nami i urządzeniami elektro- energetycznymi	5,9
klęski żywiołowe	3,8
inne przyczyny	7,9

Natomiast w ZSRR podział procentowy gęstości poszczególnego rodzaju uszkodzeń kabli dalekosiężnych w okresie dwóch lat kształtował się jak niżej (w %):

wady montażu	13,4
uszkodzenia spowodowane robotami obcych instytucji	64,0
wady przy usuwaniu uszkodzeń	4,2
uszkodzenia spowodowane korozją	0,8
uszkodzenia spowodowane piorunami i urządzeniami elektroenergetycznymi	10,8
klęski żywiołowe	4,2
inne przyczyny	2,6

a intensywność poszczególnego rodzaju uszkodzeń kabli dalekosiężnych eksploatowanych przez komunikację była następująca:

uszkodzenia wskutek montażu	
linie o długości do 10 km	$0,05 \cdot 10^{-5}/h$
linie o długości ponad 10 km	$0,02-0,03 \cdot 10^{-5}/h$
uszkodzenia spowodowane robotami ziemnymi	
linie o długości do 10 km	$0,41 \cdot 10^{-5}/h$
linie o długości ponad 10 km	$0,11-0,12 \cdot 10^{-5}/h$
uszkodzenia wskutek korozji	
linie o długości do 10 km	$0,07 \cdot 10^{-5}/h$

linie o długości ponad 10 km	$0,004-0,006 \cdot 10^{-5}/h$
uszkodzenia spowodowane piorunami i urządzeniami elektroenergetycznymi	
linie o długości do 10 km	$0,007 \cdot 10^{-5}/h$
linie o długości ponad 10 km	$0,004-0,005 \cdot 10^{-5}/h$

Znaczna różnica intensywności uszkodzeń linii krótkich i długich jest spowodowana główną przyczyną uszkodzeń, jaką są roboty ziemne. Krótkie linie są bowiem układane z zasady w rejonach miejscowości o dużej gęstości zaludnienia, w których możliwości uszkodzeń przez roboty ziemne są szczególnie duże.

5.5. Podział uszkodzeń między poszczególnymi elementami linii kablowej

Według danych z NRF podział procentowy uszkodzeń między poszczególnymi elementami wszelkiego rodzaju telekomunikacyjnych linii kablowych kształtował się w okresie 1957-1960 r. jak niżej (w %):

uszkodzenia kabli	66,2
uszkodzenia muf	27,0
uszkodzenia głowic	6,8

a w ZSRR, zależnie od rodzaju kabli, był następujący:

uszkodzenia kabli	48,6 - 78,2%
uszkodzenia muf	17,4 - 48,6%
uszkodzenia głowic	2,8 - 20,0%

Natomiast w przypadku współosiowej linii kablowej, pracującej pod kontrolą ciśnieniową, podział ten, odniesiony do gęstości uszkodzeń, był według danych szwedzkich z 1951-1959 r. następujący:

uszkodzenia kabli	0,21
uszkodzenia muf	0,66
uszkodzenia głowic	0,20

Uszkodzenia te nie spowodowały przerw transmisji, ponieważ zostały one dostatecznie wcześniej spostrzeżone dzięki kontroli ciśnieniowej, co świadczy tylko o jej znaczeniu i zaletach.

5.6. Uszkodzenia kabli bez powłoki ołowianej

Dane statystyczne NRF z okresu 1958-1960 r., dotyczące uszkodzeń kabli o falowanej powłoce aluminiowej z osłoną ochronną z polwinitu, nie świadczą korzystnie o niezawodności powyższych kabli, których niżej podana gęstość uszkodzeń okazała się znacznie większa niż kabli o powłoce ołowianej

uszkodzenia wskutek wad produkcji	0,29
uszkodzenia spowodowane korozją	1,14
uszkodzenia spowodowane piorunami	1,29
uszkodzenia spowodowane przemieszczeniami w gruncie	0,04
uszkodzenia spowodowane czynnikami mechanicznymi	3,50
inne przyczyny	5,02
	<hr/> 11,28

Sądzić jednak należy, iż ta niekorzystna niezawodność jest wynikiem braku dostatecznego doświadczenia z kablami aluminiowymi w powyższym okresie oraz że aktualna niezawodność tych kabli jest znacznie lepsza, czego nie można niestety stwierdzić wobec braku danych statystycznych.

Interesujące są również dane zebrane w NRF, dotyczące uszkodzeń kabli przez gryzonie. Dane te nie potwierdziły bowiem obaw, aby kable o powłoce z tworzyw sztucznych były częściej uszkodzane przez gryzonie niż kable nieopancerzone o powłoce ołowianej. Bardziej istotne znaczenie wydaje się mieć natomiast średnica kabla, gdyż szczególnie atakowane przez gryzonie są kable o średnicy mniejszej niż 20 mm.

6. ŚRODKI ZARADCZE POLEPSZAJĄCE NIEZAWODNOŚĆ TELEKOMUNIKACYJNYCH LINII KABLOWYCH

6.1. Kontrola ciśnieniowa kabli

Utrzymywanie kabla pod stałym nadciśnieniem gazu wprowadzanego do wnętrza kabla jest jednym z najefektywniejszych sposobów przeciwdziałania uszkodzeniom powodującym przerwy transmisji. I tak według danych szwedzkich z okresu 1951-1959 r. poszczególne średnie wskaźniki niezawodności linii kablowych z kontrolą ciśnieniową i bez kontroli ciśnieniowej kształtowały się jak niżej:

linia kablowa z kontrolą ciśnieniową

średni czas pracy między uszkodzeniami	$5,02 \cdot 10^3 \text{ h}$
średnia intensywność uszkodzeń	$0,2 \cdot 10^{-3} / \text{h}$

prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności	0,9980
współczynnik gotowości	0,9974
iloczyn dwóch ostatnich wskaźni- ków (H_1)	0,9956
brak niezawodności (zawodność) ΔH_1	0,0044
linia kablowa bez kontroli ciśnie- niowej	
Średni czas pracy między uszkodze- niami	$3,1 \cdot 10^3$ h
Średnia intensywność uszkodzeń	$0,32 \cdot 10^{-3}$ /h
prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności	0,9968
współczynnik gotowości	0,9958
iloczyn dwóch ostatnich wskaźni- ków (H_2)	0,9926
brak niezawodności (zawodność) ΔH_2	0,0074

wobec czego można stwierdzić z porównania wskaźników ΔH_1 i ΔH_2 , że niezawodność linii kablowej znajdującej się pod kontrolą ciśnieniową gazu jest 1,7 razy większa niż linii bez kontroli ciśnieniowej.

6.2. Środki ochronne przeciw uszkodzeniom wskutek przemieszczania się wzdłużnego i drgań

Zagadnienie przemieszczania się wzdłużnego kabli należy rozpatrywać przede wszystkim przy projektowaniu i budowie linii kablowych, gdy trzeba w celu uniknięcia po-

wyższych zjawisk odpowiednio wybierać trasy linii oraz sposoby układania kabli. I tak największym uszkodzeniom wskutek przemieszczania się wzdłużnego ulegają kable w gruntach słabych, a mianowicie błętnistych, nasypowych i z wysokim poziomem wód gruntowych, a także kable ułożone w pobliżu jezdni dróg. Natomiast uszkodzenia takie nie występują, gdy kable ułożone są w odległości 1,5 m od jezdni dróg oraz gdy pod kablami znajduje się grunt o wytrzymałości na ściskanie ponad $3,5 \text{ kg/cm}^2$ [1]. W przypadku gruntów o mniejszej wytrzymałości na ściskanie można zalecać układanie kabli na większej głębokości oraz ubijanie gruntu przy jednoczesnym zastosowaniu podłoża ze żwiru.

W przypadku kabli uprzednio ułożonych, gdy powyższe środki zaradcze są trudno wykonalne, można stosować specjalne wzmocnienia uniemożliwiające lub istotnie zmniejszające przemieszczanie się wzdłużne kabli. Takim wzmocnieniem kabli układanych bezpośrednio w ziemi jest układanie ich na specjalnie sporządzonym betonowym podłożu, po uprzednim umieszczeniu kabla w kwadratowych betonowych korytkach (rys. 1)^{x)}. Natomiast w przypadku kabli układanych w kanalizacji zaleca się stosowanie różnych urządzeń sprężynujących, nie dopuszczających do przemieszczania się kabla (rys. 2, rys. 3).

W celu ochrony powłoki kabla układanego w kanalizacji przed tarciem o krawędź bloku kanalizacyjnego, co może następować w wyniku wydłużania się i kurczenia ka-

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

bla wskutek zmian temperatury, zaleca się nakładanie na kabel kawałków starej powłoki o długości 250 mm, które powinny wchodzić do kanalizacji na głębokość około 150 mm. W celu zaś ochrony przed drganiami, którym podlegają głównie kable ułożone na mostach z intensywnym ruchem pojazdów, można stosować różnego rodzaju amortyzatory, ograniczające amplitudę drgań. Jedno z takich rozwiązań przedstawia rys. 4, z którego widać, że kabel uклада się w rurze podwieszanej na sprężynach z płaskimi zwojami, przy czym rura jest podtrzymywana przez podporę z płaskowników. Przed deszczem i śniegiem zabezpieczają sprężyny nałożone na nie stalowe korytka.

6.3. Inne środki

Poza powyższymi środkami istnieją jeszcze różne inne, ogólnie znane i nie wymagające wobec tego bliższego omówienia. Do nich należą, na przykład, różne metody ochrony kabli przed korozją, instalacje zabezpieczające przed piorunami itp.

7. PRZYKŁADY OBLICZANIA WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI TELEKOMUNIKACYJNYCH LINII KABLOWYCH

Przykład 1. Określić gęstość uszkodzeń, średni czas trwania jednego uszkodzenia i liczbę przerw transmisji, jeżeli na linii międzymiastowej o łącznej długości trasy 1446 km wystąpiły uszkodzenia podane w tabl. 4.

Jakość pracy linii międzymiastowej ocenia się, uwzględniając wszystkie stany niesprawności, które wystąpiły,

T a b l i c a 4

Rodzaj uszkodzenia	Liczba uszkodzeń	Liczba uszkodzonych kanałów	Czas przerwy transmisji h	Czas całkowitego usunięcia uszkodzenia h
Z przerwą transmisji	1	480	1,5	10
	1	60	3	12
	1	12	2	6
Bez przerwy transmisji	1			40
	1			30
	2			17
	2			15
	1			10
	3			7

jakkolwiek części ich nie towarzyszą przerwy transmisji, wobec czego według teorii niezawodności nie zaliczają się one do uszkodzeń. Takie postępowanie jest konieczne, gdyż umożliwia ono bardziej wyczerpujące ujawnienie braków i zalet danej linii (jakości kabla i osprzętu kablowego, jakości budowy linii, eksploatacji itp.) oraz przedsięwzięcie środków w celu zmniejszenia uszkodzeń. W związku z tym zostanie właśnie określona gęstość i czas trwania uszkodzeń zarówno z przerwami, jak i bez przerw transmisji.

Gęstość uszkodzeń z przerwami transmisji, według zależności (1)

$$m_1 = \frac{n}{L} \cdot 100 = \frac{3 \cdot 100}{1446} = 0,21$$

Średni czas trwania uszkodzenia z przerwą transmisji (średni czas wznowienia transmisji), według zależności (2)

$$t_{\text{sr1}} = \frac{\sum_{k=1}^n t_k}{n} = \frac{1,5+3+2}{3} \approx 2,17 \text{ h}$$

Przerwa transmisji (prześój), według zależności (8)

$$K = \sum_{i=1}^{n'} \tau_i a_i = 1,5 \cdot 480 + 3 \cdot 0,60 + 2 \cdot 0,12 = 864 \text{ kanałogodzin}$$

Gęstość uszkodzeń bez przerw transmisji, według zależności (1)

$$m_2 = \frac{10}{1446} \cdot 100 = 0,7$$

Średni czas trwania uszkodzenia bez przerw transmisji

$$t_{\text{sr2}} = \frac{40 \cdot 1 + 30 \cdot 1 + 17 \cdot 2 + 15 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 7 \cdot 3}{1+1+2+2+1+3} = 16,5 \text{ h}$$

Łączna gęstość uszkodzeń

$$m = \frac{13}{1446} \cdot 100 = 0,9$$

Średni czas całkowitego usunięcia uszkodzenia

$$t_{\text{śr}} = \frac{10 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 1 + 40 \cdot 1 + 30 \cdot 1 + 17 \cdot 2 + 15 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 7 \cdot 3}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 2 + 1 + 3} =$$

$$= 14,8 \text{ h}$$

Przykład 2. W wyniku rocznej eksploatacji trzech linii kablowych tego samego typu otrzymano dane o sprawności pracy, przedstawione w tabl. 5 na str. 89. Określić należy średni czas pracy między uszkodzeniami T_0 .

Korzystając z zależności (6), otrzymuje się:

$$T_0 = \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^{n_k} t_{ik}}{\sum_{k=1}^M n_k} = \frac{362 + 362 + 361}{13 + 16 + 15} = \frac{1095}{44} = 24,9 \text{ dni} =$$

$$= 597,6 \text{ h}$$

Przykład 3. W celu sprawdzenia niezawodności pod względem szczelności dostarczone do zbadania 20 próbek złączy kabla nowej konstrukcji. Ponieważ po badaniach przez 1000 h dwie próbki nie wytrzymały tych badań, wynika z zależności (7), iż intensywność uszkodzeń równa się

$$\lambda = \frac{2}{20 \cdot 1000} = 1 \cdot 10^{-4} / \text{h.}$$

T a b l i c a 5

Linia	Długość km	Czas między kolejnymi uszkodzeniami, doby																Liczba u szkodzeń	Czas prze ży sprze nej, doby
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂	t ₁₃	t ₁₄	t ₁₅	t ₁₆		
1	1770	30	15	10	35	11	65	9	18	90	12	30	22	15	-	-	-	13	362
2	2100	43	14	50	30	32	46	27	19	4	8	20	7	12	22	18	14	16	362
3	1860	40	10	32	19	15	39	63	15	2	24	37	12	14	18	21	-	15	361

Przykład 4. Należy określić współczynnik gotowości linii kablowej według statystyki uszkodzeń z poszczególnych lat, zgodnie z którą na linii międzymiastowej o długości 1500 km zarejestrowano uszkodzenia z przerwami transmisji podane w tabl. poniżej.

T a b l i c a 6

Rok	Liczba uszkodzeń	Średni czas trwania przerwy transmisji, h	Współczynnik gotowości
1955	12	4,0	0,99452
1956	10	4,5	0,99486
1957	11	6,0	0,99246
1958	9	5,0	0,99486
1959	10	3,5	0,99600
Łącznie	52	4,6	0,99453

Przyjmując, że rok ma 8760 h, współczynnik gotowości według danych z 1955 r. wynosi, według zależności (16) i (17)

$$K_g = \frac{8760 - 12 \cdot 4}{8760} = 0,99452$$

Podobnie obliczone są współczynniki gotowości w innych latach, których wartości liczbowe podano w tabl.6.

Przykład 5. Określić wskaźniki liczbowe niezawodności linii z przykładu 2, wykorzystując dane statystyczne zamieszczone w tabl. 5.

Gęstość uszkodzeń

$$m = \frac{13}{1770} 100 = 0,735$$

Średni czas naprawy

$$t_n = \frac{(365-362)24}{13} = 5,54 \text{ h}$$

Średni czas pracy między uszkodzeniami według zależności (5)

$$T_o = \frac{362,24}{13} = 668,3 \text{ h}$$

Intensywność uszkodzeń według zależności (8)

$$\lambda = \frac{13}{365 \cdot 24} = 14,8 \cdot 10^{-4} / \text{h}$$

Intensywność uszkodzeń według zależności (19)

$$\lambda = \frac{1}{668,3} = 14,9 \cdot 10^{-4} / \text{h}$$

Odmienne intensywności uszkodzeń, otrzymane z zależności (8) i (19), wynikają z tego, iż do zależności (8) wchodzi pełny roczny okres eksploatacji przez 365 dni, podczas gdy zależność (19) uwzględnia tylko czas pracy sprawnej. Ponieważ jednak czas pracy sprawnej linii kablowej jest zawsze znacznie większy niż czas przestoju spowodowanego uszkodzeniami, łączny czas pracy sprawnej mało różni się więc od czasu kalendarzowego, dla którego wykonuje się obliczenia. Dlatego też wartości otrzy-

mywane z zależności (8) i (19) można uważać praktycznie za równoznaczne.

Prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności przez 1 h według zależności (11)

$$P(1) = e^{-14,8 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 0,998$$

Prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności przez dobę

$$P(24) = e^{-14,8 \cdot 10^{-4} \cdot 24} = 0,964$$

Współczynnik gotowości według zależności (12)

$$K_g = \frac{362}{365} = 0,991$$

Przykład 6. Określić wskaźniki liczbowe niezawodności odniesione do długości 100 km tras trzech linii kablowych, których charakterystyki podano w przykładzie 2.

Gęstość uszkodzeń

pierwszej linii $m_1 = \frac{13}{1770} 100 = 0,735$

drugiej linii $m_2 = \frac{16}{2100} 100 = 0,763$

trzeciej linii $m_3 = \frac{15}{1860} 100 = 0,807$

Średni czas naprawy

$$\text{pierwszej linii } t_{n1} = \frac{(365-362)24}{13} = 5,54 \text{ h}$$

$$\text{drugiej linii } t_{n2} = \frac{(365-362)24}{16} = 4,5 \text{ h}$$

$$\text{trzeciej linii } t_{n3} = \frac{(365-361)24}{15} = 6,4 \text{ h}$$

Średni statystyczny czas pracy między uszkodzeniami w ciągu roku, odniesiony do długości trasy linii 100 km, obliczony z zależności (16)

$$\begin{aligned} \text{pierwszej linii } T_{01} &= \frac{8760-m_1 t_{n1}}{m_1} = \frac{8760-0,735 \cdot 5,54}{0,735} = \\ &= 11920 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{drugiej linii } T_{02} &= \frac{8760-m_2 t_{n2}}{m_2} = \frac{8760-0,763 \cdot 4,5}{0,763} = \\ &= 11450 \text{ h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{trzeciej linii } T_{03} &= \frac{8760-m_3 t_{n3}}{m_3} = \frac{8760-0,807 \cdot 6,4}{0,807} = \\ &= 10850 \text{ h} \end{aligned}$$

Intensywność uszkodzeń według zależności (19), odniesiona do 100 km linii

pierwszej linii $\lambda_1 = \frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{11920} = 8,38 \cdot 10^{-5}/h$

drugiej linii $\lambda_2 = \frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{11450} = 8,75 \cdot 10^{-5}/h$

trzeciej linii $\lambda_3 = \frac{1}{T_{03}} = \frac{1}{10850} = 9,22 \cdot 10^{-5}/h$

Prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności linii o długości 100 km, według zależności (11)

pierwszej linii

przez 1 h $P_1(1) = e^{-8,38 \cdot 10^{-5} \cdot 1} = 0,999916$

przez 10 h $P_1(10) = e^{-8,38 \cdot 10^{-5} \cdot 10} = 0,99916$

przez 100 h $P_1(100) = e^{-8,38 \cdot 10^{-5} \cdot 100} = 0,9916$

drugiej linii

przez 1 h $P_2(1) = e^{-8,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1} = 0,999912$

przez 10 h $P_2(10) = e^{-8,75 \cdot 10^{-5} \cdot 10} = 0,99912$

przez 100 h $P_2(100) = e^{-8,75 \cdot 10^{-5} \cdot 100} = 0,9912$

trzeciej linii

przez 1 h $P_3(1) = e^{-9,22 \cdot 10^{-5} \cdot 1} = 0,999907$

$$\text{przez 10 h } P_3(10) = e^{-9,22 \cdot 10^{-5} \cdot 10} = 0,99907$$

$$\text{przez 100 h } P_3(100) = e^{-9,22 \cdot 10^{-5} \cdot 100} = 0,9907$$

Współczynnik gotowości według zależności (13)

$$\text{pierwszej linii } K_{g1} = \frac{T_{01}}{T_{01} + t_{n1}} = \frac{11920}{11920 + 5,54} = 0,9995$$

$$\text{drugiej linii } K_{g2} = \frac{T_{02}}{T_{02} + t_{n2}} = \frac{11450}{11450 + 4,5} = 0,9996$$

$$\text{trzeciej linii } K_{g3} = \frac{T_{03}}{T_{03} + t_{n3}} = \frac{10850}{10850 + 6,4} = 0,9994$$

Współczynnik gotowości można określić także z zależności (17). I tak w przypadku pierwszej linii otrzymuje się

$$K_{g1} = \frac{8760 - 0,735 \cdot 5,54}{8760} = 0,9995$$

Iloczyn prawdopodobieństwa utrzymania się w stanie sprawności i współczynnik gotowości, czyli tzw. niezawodność ogólna, wynosi dla 10 h, odpowiednio

$$\begin{aligned} \text{dla pierwszej linii } H_1(10) &= P_1(10) K_{g1} = 0,99916 \cdot \\ &\cdot 0,9995 = 0,9986 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dla drugiej linii } H_2(10) &= P_2(10) K_{g2} = 0,99912 \cdot \\ &\cdot 0,9996 = 0,9987 \end{aligned}$$

$$\text{dla trzeciej linii } H_3(10) = P_3(10)K_{g3} = 0,99907 \cdot \\ \cdot 0,9994 = 0,9984$$

Jak wynika z rozpatrywanego przykładu, najbardziej niezawodną okazała się druga linia. Jakkolwiek przy tym prawdopodobieństwo utrzymania jej w stanie sprawności jest mniejsze w porównaniu z pierwszą linią, druga linia wykazuje tym niemniej mniejszy średni czas napraw oraz większy współczynnik gotowości, wobec czego właśnie niezawodność ogólna tej linii jest największa.

Chociaż wszystkie trzy wartości niezawodności ogólnej są bardzo podobne i na pierwszy rzut oka praktycznie równoznaczne, w rzeczywistości jednak rozpatrywane trzy linie wyraźnie odróżniają się pod względem niezawodności. I tak z poniższych wartości, przedstawiających brak niezawodności (zawodność)

$$\Delta H_1 = 1 - H_1(10) = 1 - 0,9986 = 0,0014$$

$$\Delta H_2 = 1 - H_2(10) = 1 - 0,9987 = 0,0013$$

$$\Delta H_3 = 1 - H_3(10) = 1 - 0,9984 = 0,0016$$

widać, że stanu niesprawności pierwszej linii w ciągu 10 h można oczekiwać z prawdopodobieństwem 0,14%, drugiej linii - z prawdopodobieństwem 0,13% i trzeciej linii - z prawdopodobieństwem 0,16%. Gdy każdą linię oszacujemy zaś współczynnikiem zawodności, będącym stosunkiem zawodności rozpatrywanych linii

$$K_s = \frac{\Delta H_1}{\Delta H_2}, \quad (21)$$

wówczas współczynnik zawodności pierwszej linii w stosunku do drugiej wyrazi się zależnością

$$K_{s1} = \frac{0,0014}{0,0013} = 1,077$$

trzeciej linii w stosunku do drugiej zależnością

$$K_{s2} = \frac{0,0016}{0,0013} = 1,230$$

i trzeciej linii w stosunku do pierwszej zależnością

$$K_{s3} = \frac{0,0016}{0,0014} = 1,143,$$

z czego wynika, że zawodność pierwszej linii jest o 7,7% większa niż drugiej, że zawodność trzeciej linii jest większa o 23% niż drugiej oraz że zawodność trzeciej linii jest o 14,3% większa niż pierwszej.

Przykład 7. Określić wskaźniki liczbowe niezawodności jednej z linii międzymiastowych długości 100 km, na której znajduje się średnio 250 odcinków fabrykacyjnych kabla, 245 złącz i 10 głowic zakończeniowych. Według danych statystycznych z eksploatacji w ciągu 10 lat śr. roczne wskaźniki liczby uszkodzeń z przerwami transmisji z winy poszczególnych elementów składowych linii są następujące: odnośnie kabla - 1 uszkodzenie w roku na 500 od-

cinków fabrykacyjnych, czyli $2 \cdot 10^{-3}$ uszkodzenia na 1 odcinek fabrykacyjny, odnośnie złącz - 1 uszkodzenie w roku na 2000 złącz, czyli $5 \cdot 10^{-4}$ uszkodzenia na 1 złącze oraz odnośnie głowic - 1 uszkodzenie w roku na 1000 głowic, czyli $1 \cdot 10^{-3}$ uszkodzenia na 1 głowicę. Średni czas wznowienia transmisji, odniesiony do wszystkich elementów, wynosi natomiast 4 h.

Intensywność uszkodzeń poszczególnych elementów składowych linii jest następująca:

odcinków fabrykacyjnych kabli

$$\lambda_1 = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{8760} = 2,28 \cdot 10^{-7} / \text{h}$$

złącz

$$\lambda_2 = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{8760} = 5,14 \cdot 10^{-8} / \text{h}$$

głowic

$$\lambda_3 = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{8760} = 1,14 \cdot 10^{-7} / \text{h}$$

a łączna intensywność uszkodzeń linii długości 100 km jest poniższa

$$\begin{aligned} \lambda_k &= 2,28 \cdot 10^{-7} \cdot 250 + 0,514 \cdot 10^{-7} \cdot 245 + 1,14 \cdot 10^{-7} \cdot 10 = \\ &= 7,04 \cdot 10^{-5} / \text{h} \end{aligned}$$

Prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności przez 10 h linii o długości 100 km wynosi

$$P_k(10) = e^{-10 \cdot 7,04 \cdot 10^{-5}} = 0,9993,$$

a przez 100 h

$$P_k(100) = e^{-100 \cdot 7,04 \cdot 10^{-5}} = 0,993$$

Średni czas pracy między uszkodzeniami dla linii o długości 100 km wynosi

$$T_{0k} = \frac{1}{7,04 \cdot 10^{-5}} = 0,142 \cdot 10^5 \text{ h,}$$

a współczynnik gotowości

$$K_g = \frac{0,142 \cdot 10^5}{0,142 \cdot 10^5 + 4} = 0,9997$$

Tak więc niezawodność ogólna linii o długości 100 km wynosi w ciągu 10 h

$$H(10) = P_k(10)K_g = 0,9993 \cdot 0,9997 = 0,9990.$$

Przykład 8. Określić wskaźniki liczbowe niezawodności linii kablowej na odcinku wzmacniakowym długości 18 km, jeżeli według danych statystycznych z eksploatacji linii takiego samego typu otrzymano następujące średnie wskaźniki: gęstość uszkodzeń z przerwami transmisji w ciągu roku na linii długości 100 km $m = 0,6$ i średni czas trwania uszkodzenia do wznowienia transmisji $t_{sr} = t_n = 4 \text{ h}$.

Intensywność uszkodzeń na linii długości 18 km

$$\lambda_w = \frac{0,16 \cdot 18}{100 \cdot 8760} = 1,2 \cdot 10^{-5} / \text{h}$$

Prawdopodobieństwo utrzymania się w stanie sprawności przez 10 h linii o długości 18 km

$$P_w(10) = e^{-1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10} = 0,99988,$$

a przez 100 h

$$P_w(100) = e^{-1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 100} = 0,9988$$

Średni czas pracy między uszkodzeniami linii długości 18 km wynosi

$$T_{0w} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-5}} = 83 \cdot 10^3 \text{ h},$$

współczynnik gotowości

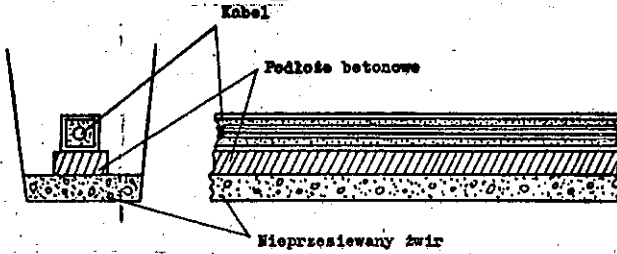
$$K_{wg} = \frac{83 \cdot 10^3}{83 \cdot 10^3 + 4} = 0,99995,$$

a niezawodność ogólna przez 10 h

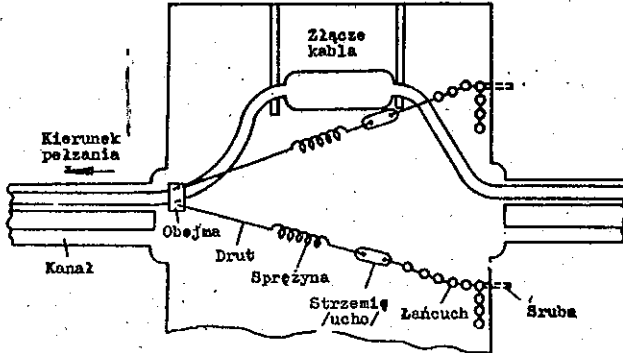
$$H_w = P_w K_{wg} = 0,99998 \cdot 0,99995 = 0,9998$$

WYKAZ LITERATURY

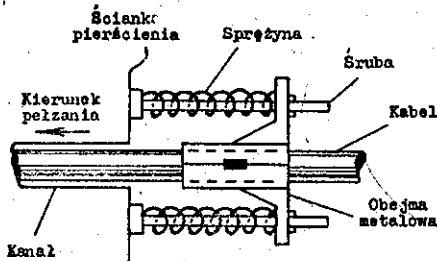
1. Matsuku A., Nakamura K.: Creepage of underground cable. Jap. Telecomm. Rev. 1965 t. 7 nr 2, s. 102-110.
2. Kurbatov N.D., Frolov P.A.: Stabilnost' parametrov kabelej dal'nej svjazi. Izd. Svjaz', 1965.
3. Klimov M.A., Razumov L.D.: Zaščita cepej vysokočasotnych kabelej ot mešajuščego vlijanja elektromagnitnyh polej. Izd. Svjaz', 1964.
4. Michajlov M.I.: Vlijanje vnešnich elektromagnitnyh polej na cepi provodnoj svjazi i zaščitnyje meroprijatja. Svjazizdat, 1959.
5. Michajlov M.I., Razumov L.D., Chorof A.S.: Zaščita ustrojstv provodnoj svjazi ot elektromagnitnogo vlijanja linij vysokogo naprjaženja. Svjazizdat, 1961.



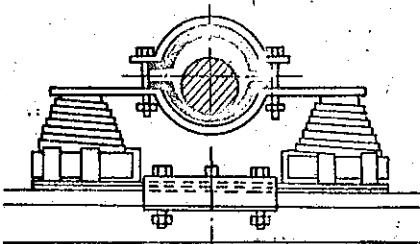
Rys. 1. Zabezpieczenie przed przemieszczeniem się wzdłużnym kabla ziemnego



Rys. 2. Urządzenie zabezpieczające przed przemieszczeniem się wzdłużnym kabla ułożonego w kanalizacji



Rys. 3. Ogranicznik zabezpieczający przed przemieszczeniem się wzdłużnym kabla ułożonego w kanalizacji



Rys. 4. Urządzenie kompensujące drgania kabla

BADANIE WAD, KLASYFIKACJA WAD I FIZYKA WAD ELEMENTÓW TELEKOMUNIKACYJNYCH

Opracował C. Niewiadomski na podstawie artykułu Tretter J.: Fehleruntersuchung, Fehlerklassifikation und Fehlerphysik bei Bauelementen der Nachrichtentechnik. Fernmelde Prax. 1969 t. 46 nr 6, s. 197-216.

1. WSTĘP

Historia wady rozpoczyna się zwykle od wystąpienia w urządzeniu uszkodzenia, za które uważa się wszelkie nieprzewidywane, niepożądane i w momencie uszkodzenia bliżej nieokreślone zakłócenie czynności systemu albo urządzenia. Bardziej sprecyzowane dane o skutkach tych zakłóceń, którymi mogą być m.in. nieprawidłowe charakterystyki częstotliwościowe, duże szумы, przerwy, skoki poziomu itp., uzyskuje się mianowicie dopiero po przeprowadzeniu badań, a gdy zakłócenia są spowodowane wadami urządzeń, wtenczas podczas naprawy zostaje stwierdzona także przyczyna uszkodzenia, jak na przykład przepalenie opornika, zanieczyszczenie zestyku, pęknięcie przewodu, przerwa w spoinie itd. Dane te są jednak niewystarczające, gdy poza naprawą i zwykłą statystyką wad zależy na przedsięwzięciu środków i ulepszeń za pomocą analizy i ustalenia mechanizmu powstawania wad, co ułatwia właśnie niżej omówione zestawienie (katalog) wad, a także ich klasyfikacja oraz omówienie zjawisk fizycznych związanych z wadami.

2. ZESTAWIENIE WAD

W zestawieniu wady są przedstawione w następujący sposób:

1) przez zobrazowanie zjawisk występujących, ogólnie biorąc, na początku pomiarów wykonywanych w celu ustalenia przyczyny uszkodzenia, jak na przykład spadek pojemności, zmiany oporu przy pokręcaniu itp.;

2) częściowo - przez przybliżone, schematyczne zobrazowanie przyczyn fizyko-technologicznych zjawisk występujących przy pomiarach, jak na przykład przerwa w przewodach doprowadzających, zanieczyszczenie powierzchni stykowej itp.

W grupie elementów elektromechanicznych, do których można zaliczyć oporniki obrotowe (potencjometry) (tabl. 1, rys. 1)^{x)}, przełączniki (tabl. 2, rys. 2), przekaźniki (tabl. 3, rys. 3) i złącza wtykowe (tabl. 4), większość wad jest tego samego rodzaju, a najczęściej wśród nich występują wady zestyków. W elementach tych istotne znaczenie ma współdziałanie poszczególnych części składowych, wobec czego przy wszelkich badaniach i rozważaniach należy taki element zawsze rozpatrywać w całości. Oporniki obrotowe zaliczono do tej grupy, ponieważ można je uważać za połączenie wyłącznika z opornikiem stałym, w związku z czym ich główne wady są podobne do wad innych elementów elektromechanicznych.

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

W oddzielnej grupie ujęto oporniki węglowe warstwowe (tabl. 5, rys. 4), podczas gdy grupą kondensatorów objęto w zestawieniu wad kondensatory mikowe i podobne (tabl. 6, rys. 5), kondensatory zwijane, jak na przykład papierowe i z folii z tworzyw sztucznych (tabl. 7, rys. 5), kondensatory elektrolityczne (tabl. 8, rys. 5) i kondensatory ceramiczne (tabl. 8, rys. 5).

Znane i opisane są już także różne wady elementów półprzewodnikowych, zwłaszcza germanowych, do których doszły jeszcze pewne inne wady półprzewodnikowych elementów krzemowych, odznaczających się większą niezawodnością. Ze względu na podobieństwo budowy i wad elementy powyższe podzielono w zestawieniu na diody ostrzowe (tabl. 9) oraz diody płaskie i tranzystory (tabl. 9, rys. 6).

T a b l i c a 1

Wady oporników obrotowych (potencjometrów)

1. Zmiany oporu przy pekręcaniu (skoki poziomu)	Powierzchnia stykowa <u>1</u> ślizgaczą- -ścieżka rezystywna niewłaściwa wskutek: zanieczyszczenia (zływiczny smar, włókna, kurz, kalafonia i in.), rys, wtrąceń ciał obcych, niejednorodności ścieżki rezystywnej (zwłaszcza oporników logarytmicznych ze ścieżką schodkową <u>2</u>), korozji, ob-luzowania nitu <u>2</u> , za dużego luzu osi <u>4</u> albo zmniejszenia siły sprężyny /1 wskutek tego nierównomiernego na-
---	--

	cisku stykowego), skośnego osadzenia osi.
2. Zmiany oporu bez pokręcania, stałe (także przerwa)	Zmiany struktury wewnętrznej warstwy rezystywnej (na przykład z powodu starzenia) lub grubości warstwy (na przykład wskutek wytarcia) <u>1</u> , znaczne obluzowanie nitu wskutek skurczu materiałów albo złego nitowania, korozja w miejscu styku z nitem <u>2</u> , pęknięcie przewodów.
3. Zwiększony moment obrotowy	Zżywiczenie smaru <u>5</u> , występowanie skrawania <u>5</u> , zakleszczenie pierścienia uszczelniającego <u>5</u> , skośne osadzenie osi <u>4</u> , pozostałości po obróbce <u>5</u> .

T a b l i c a 2

Wady przełączników stopniowych (obrotowych)

1. Zmiany oporu przejścia w położeniu spoczynku, przy pokręcaniu i przy drganiach w	Styk elementów stykowych niewłaściwy wskutek zanieczyszczenia (nagar, zżywiony smar, włókna, kurz, kalfonia), korozji, złej przyczepności warstewki ochronnej, rys (zwłaszcza w wypukłej części zestyków) lub dużych nierówności powierzchni elemen-
---	--

położeniu spoczynku	tów stykowych, których nie można wyrównać w pracy i które mogą wytworzyć się podczas pracy wskutek powstawania krateru, wytarcia <u>2</u> i sprężynowania z powodu starzenia lub też już podczas produkcji. Zmniejszanie się siły nacisku sprężyny stykowej <u>4</u> (relaksacja).
2. Zwiększony moment obrotowy	Zływicie smaru, skośne osadzenie osi, zaczepianie się mostka o element stykowy. Rzadziej zacięcia lub inne wady mechanizmu zaskokowego.
3. Brak kolejności łączenia (w przełącznikach wielotarczowych)	Zwichrowanie wskutek obluźnienia elementów składowych (skurcz <u>7</u> , zle dokręcenie śrub itp.). Za duży luz osi <u>5</u> .

T a b l i c a 3

Wady przekaźników

1. Zmiany oporu zwłaszcza podczas drgań (także przerwa)	Niewłaściwe powierzchnie stykowe wskutek zanieczyszczeń (zływiczony smar, włókna, kurz, kalafonia, nagar). Korozja, zła przyczepność warstewek ochronnych, zniekształcenia stycek
---	--

	(wytarcie, rysy, kratery), zmniejszenie się nacisku stykowego, obłuzowanie pakietu sprężyn (rozregulowanie) i wskutek tego, niedostateczny wspólny ruch styczek <u>b</u> lub posuw z tarciem <u>c</u> , będące wynikiem nacisku stykowego.
2. Zwiększony czas dygotu (odskoków)	Obluźnienie pakietu sprężyn, zmniejszenie siły sprężyny (lub przekroczenie granicy elastyczności przy osadzaniu). Zniekształcenie styczek.
3. Zacięcie zestyku	Zgrzanie się styczek, brak wzbudzenia (przerwa w uzwojeniu, zerwane doprowadzenia, zmiana oporu uzwojenia).

T a b l i c a 4

Wady złączy wtykowych

1. Zmiana oporu przejścia	Niewłaściwe powierzchnie stykowe wskutek zanieczyszczeń (jak w przypadku przekładników), korozji, złej przyczepności warstewki ochronnej, zniekształcenia elementów stykowych, zmniejszenia siły sprężyny, złego lutowania (wtyczki bananowe).
---------------------------	--

- | | |
|--|--|
| 2. Zacięcie ze-
styku lub
niemożność u-
zyskania sty-
ku | Zgrzanie się styczek, pęknięcie li-
stwy stykowej wskutek za ciasnego pa-
sowania lub skoszenia. |
|--|--|

T a b l i c a 5

Wady oporników warstwowych nienastawnych

- | | |
|--|--|
| 1. Zwiększenie
oporu (bez
przerwy)
przy nagrzewa-
niu opór dąży
często do war-
tości znamio-
nowej
przerwa | Utlenienie powierzchni warstwy węgla
wskutek przedostawania się powietrza
poprzez lakier lub pory w lakierze <u>3</u>
Absorpcja gazu lub cieczy przez war-
stwę rezystywną <u>3</u> .
Zwężenie ścieżki przewodzącej oporni-
ków ze ścieżką spiralną wskutek wy-
kruszenia <u>3</u> lub wadliwego osadzania
się warstwy podczas pirolizy.
Wykruszenie lub wypalenie się war-
stwy węgla w poprzek całej ścieżki
rezystywnej <u>5</u> . |
| 2. Zmniejszenie
oporu
przy nagrze-
waniu opór
dąży często | Cząsteczki przewodzące na ścieżce
spiralnej <u>2</u> .
Wilgoć na warstwie lub w warstwie o-
chronnej <u>4</u> , zmniejszająca się dzięki
oporowi powierzchniowemu, lub też |

do wartości znamionowej	zmiany w oporniku z powodu ciśnienia wskutek pęcznienia warstwy ochronnej
3. Wahania oporu	Chwiejny styk między doprowadzeniami i warstwą rezystywną <u>4</u> lub, rzadziej, nie zbite cząsteczki na zwojach ścieżki <u>6</u>
4. Niewłaściwy współczynnik temperaturowy	Nierównomierna warstwa rezystywna <u>3</u> (miejsca o podwyższonej temperaturze przy badaniach promieniami podczerwonymi)
5. Odpryski lakieru	Duże obciążenie impulsowe lub zła przyczepność lakieru
6. Szumy, zniekształcenia nieliniowe	Wadliwa budowa warstwy rezystywnej lub warstwy ochronnej, złe styki albo też, jako towarzyszące, zjawiska wyszczególnione w pkt. 1-4

T a b l i c a 6

Wady kondensatorów mikowych

Pojemność dąży do zera	Przerwa spowodowana wadą materiału lub pogorszeniem przyczepności
------------------------	---

<p>Pojemność zmienna, zwłacza przy nagrzewaniu lub nacisku</p>	<p>Chwiejny styk:</p>
<p>a) określona zmiana pojemności</p>	<p>przerwa w elektrodzie</p>
<p>b) mała, dowolna zmiana, często połączona ze zmianą współczynnika strat (luźny styk powoduje duże szumy)</p>	<p>przerwa elementu elektrody, straty impregnatu, zmiana położenia elektrod, zmiany objętości warstwy ochronnej</p>
<p>Opór izolacji trwale mały</p>	<p>Zwarcie wskutek migracji cząsteczek srebra na elektrodzie</p>
<p>polepszenie przy nagrzewaniu</p>	<p>Zawilgocone elektrody lub warstwa ochronna, wilgoć między wyprowadzeniami</p>
<p>niekiedy polepszenie po przyłożeniu napięcia</p>	<p>Wytworzone włoski metaliczne /whisker/, cząsteczki przewodzące wskutek przesko-ku lub przebicia</p>
<p>Duży współczynnik strat a) bez zmiany pojemności (wada często znika przy nagrzewaniu lub przyłożeniu napięcia)</p>	<p>Przerwa spowodowana: korozją miejsc styku, uszkodzeniem w miejscu styku, obluźnieniem styku wskutek złego wykonania</p>

b) zwiększający się przy nagrzewaniu	Przedostanie się dielektryka w miejsca styku
c) wraz ze zwiększoną pojemnością	Zmiany w dielektryku, na przykład przez przedostanie się materiału warstwy ochronnej do źle przesycionych warstw dielektryka
Szumy	
a) trwale po przyłożeniu napięcia przemiennego lub na początku po przyłożeniu napięcia stałego	Jonizacja gazowa między płytkami miki
b) połączone z małym o-porem izolacji	Migracja srebra lub włoski metaliczne

T a b l i c a 7

Kondensatory foliowe, kondensatory papierowe i kondensatory z papieru metalizowanego, zwijane

Kondensatory foliowe Pojemność dąży do zera, zwarcie	Zadziory końcówki do wypro- wadzeń przebijają folię (1), pory w cienkich foliach (3) umożliwiają styk między o- kładzinami (2) (zwłaszcza przy kurczeniu się)
---	--

Przerwa, duży opór izolacji lub współczynnik strat

Wadliwe połączenie - złe spawanie, lutowanie lub sprasowanie

Zwiększona pojemność

Skurcz uzwojenia lub sprasowanie wskutek skurczu osłony ochronnej (pojemność jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy kondensatora)

Zmniejszona pojemność

Zmiany struktury dielektryka, złuszczenie okładzin metalicznych przy wyprowadzeniach z powodu obciążeń impulsowych

Kondensatory papierowe i z papieru metalizowanego

Pojemność dąży do zera

Jak w kondensatorach foliowych

Zwiększenie pojemności

Jak w kondensatorach foliowych

Zmniejszenie pojemności

Jak w kondensatorach foliowych lub wskutek złuszczenia okładziny metalicznej z powodu obciążenia impulsowego

Zmniejszenie oporu izolacji kondensatorów z papieru metalizowanego, znikające dzięki samoregeneracji	Wtrącenia elektrolityczne w dielektryku
--	---

T a b l i c a 8

Kondensatory elektrolityczne i kondensatory ceramiczne

Kondensatory elektrolityczne	
Zmniejszenie pojemności	W przypadku kondensatorów mokrych wyschnięcie elektrolitu, degradacja warstwy dielektryka (chropowatość)
Przerwa	Korozja wyprowadzeń (agresywny elektrolit, niedostatecznie czyste materiały, trwale wysoka temperatura), pęknięcia spieków
Zwarcie	Kanaliki spowodowane zanieczyszczeniami itp.

<p>Eksplozja</p>	<p>Wytwarzanie się gazu wskutek rozkładu elektrolitu, zwłaszcza przy nadmiernym nagrzewaniu</p>
<p>Kondensatory ceramiczne</p> <p>Zmiany oporu i pojemności</p> <p>Duża przenikalność dielektryczna</p>	<p>Zmiany struktury dielektryka</p>

T a b l i c a 9

Diody, tranzystory

<p>Diody ostrzowe</p> <p>Zmienione własności</p>	<p>Przemieszczenie ostrza (mechaniczne lub wskutek udaru cieplnego), zmęczenie części stykowej ostrza, zmiany powierzchni miejsca styku wskutek korozji lub osadzonych warstewek, zmiany krystaliczne (zmiany struktury, rysy i in.)</p>
<p>Diody płaskie i tranzystory</p> <p>Zwiększenie prądu szczytkowego</p>	<p>Zmiana oporności powierzchniowej wskutek mikroklimatu</p>

Zmienione własności	(getteru) wewnątrz uszczelnionego elementu lub wskutek przedostawania się z powodu nieszczelności czynników zewnętrznych, a także wskutek przepływu ładunków wzdłuż warstw granicznych i in.
Przerwa	Pęknięty lub złamany kryształ, niejednorodności w kryształach wskutek zjawisk związanych z dyfuzją (rozmycie stref dyfuzji)
	Korozja wyprowadzeń (purpurowa plaga) lub pęknięcia mechaniczne (przewężenie przy łączeniu przez termokompresję)

W powyższym zestawieniu wad, sporządzonym według podziału na elementy, powtarzają się oczywiście liczne rodzaje wad, wobec czego jest celowe sporządzenie jeszcze jednego, przejrzystego zestawienia wad, w którym to powtarzanie się nie występuje. W zestawieniu takim narzuca się podział logiczny, uwzględniający specyficzne właściwości wad, przy czym jako wadę rozumie się niedopuszczalne odchylenie pewnego parametru. Takie odchylenie może dotyczyć zmiany oporu, pojemności, współczynnika

strat, wzmocnienia itp., które po przekroczeniu dopuszczalnej wartości uwidacznia się w postaci wady oporu, pojemności, współczynnika strat, wzmocnienia itd.

3. ROZSZERZONA KLASYFIKACJA WAD

Do rozpatrywania różnych zagadnień niezawodności, jak na przykład kontrola jakości, oszacowywanie niezawodności urządzeń, ustalenie miejsc słabych i in., niezbędne są jednak jeszcze inne informacje, które zestawiono w tabl. 10. I tak do określenia źródeł wad, czyli miejsc powodujących wady, jest niezbędny podział według grupy 9 tej tablicy. Podział ten jest interesujący nie tylko ze względu na obciążanie poszczególnych kont, lecz także ze względu na uzasadnione odciążanie konta wad elementów, na które chętnie wpisuje się inne wady.

4. FIZYKA WAD ELEMENTÓW

4.1. Uwagi ogólne

Następnym, bardzo ważnym podziałem, omówionym szczegółowo poniżej, jest podział według fizyko-technologicznych przyczyn wad, czyli według fizyki wad, których mechanizm powstawania jest łatwiejszy do zrozumienia, gdy są znane warunki i okoliczności powstawania wad.

Ósrodek, w którym zachodzą zjawiska powodujące wady, jest to mikroklimat, zawierający poza normalnym powietrzem z tlenem, azotem i śladami gazów szlachetnych także inne substancje gazowe, a mianowicie przede wszy-

Rozszerzona klasyfikacja wad

W a d y			
Rodzaj		Zródło	Przyczyna
1. Parametry funkcjonalne elementów Pojemność Współczynnik strat Opór itp.	4. Wady zasadnicze rozwiązania konstrukcyjnego Wadliwe obciążenia	9. Układ połączeń Konstrukcja Wykonanie Badanie Montaż Obsługa Konserwacja Naprawa Składowanie itp.	11. Przyczyny fizyko-chemiczne /fizyka wad/ Korozja Migracja Odształcenie Przebiecie itp.
	5. Wady pierwotne Wady wtórne		
2. Czynniki mechaniczne Lutowanie Wady podzespołów Okablowanie itp.	6. Przerwa Zwarcie Zmiany własności Chwiejny styk	10. Materiały Technologia Maszyny produkcyjne Człowiek	12. Pozostałe, zasadnicze przyczyny /natury psychicznej/ Nieuwaga Nieruchliwość /bezwładność/ Nieświadomość
	7. Uszkodzenie w okresie starzenia wstępnego Uszkodzenie w okresie normalnej eksploatacji Uszkodzenie wskutek zużycia		
3. Parametry funkcjonalne urządzeń Poziom Charakterystyka częstotliwościowa Szumy itp.	8. Lekka wada Ciężka wada Krytyczna wada		

stkim parę wodną, siarkowodór, parę siarki, benzen, benzynę, toluen, terpentynę, trójchloroetylen, czterochloroetylen, czterochlorometan i wiele innych. W ośrodku tym unoszą się ponadto cząstki ciał stałych, jak drobne ziarenka piasku, pył z cegły, opiłki metalowe, pyłek kwiatowy, pył tworzyw sztucznych, włókna, dym tytoniowy, sadza itd., które pochodzą z kominów, spalin, warsztatów, ścian budynków, z ulic poprzez okna i urządzenia zasysające powietrze, ze środków do konserwacji podłóg, roślin pokojowych, drzew, z wyposażenia pomieszczeń, z elementów urządzeń oraz od ludzi, a mianowicie z palenia tytoniu, jedzenia, picia, oddychania, ubrań, obuwia, perfum, lakierów do włosów, kosmetyków do pielęgnowania rąk itp.

W takiej właśnie atmosferze znajdują się elementy wykonane niekiedy z materiałów, których cząstki także mogą przedostawać się do otoczenia, poza tym zaś same elementy często dostają się jakby już poprzednio zakażone do otaczającego je mikroklimatu. To zakażenie następuje podczas procesów produkcyjnych, składowania, transportu lub montażu, na przykład przez smary, kalafonię, rozpuszczalniki lakierów i in.

Między atmosferą i elementami zachodzi intensywne wzajemne oddziaływanie. Wskutek ruchu powietrza, przyciągania elektrostatycznego, pełzania, płynięcia lub migracji zachodzi mianowicie wzajemny styk materiałów i przebiegają tzw. zjawiska powierzchniowe, będące przyczyną większości wad. Do wad tych zaliczają się warstewki osadów takich substancji, jak olej lub kurz, warstew-

ki osadów produktów przemian, jak nagar, warstewki wytwarzające się w wyniku reakcji chemicznych, na przykład tlenki itp. W zjawiskach tych duże znaczenie mają nie tylko adsorpcja i chemosorpcja, lecz także zjawiska przeciwnie, jak zużycie materiału (erozja, kawitacja) lub odparowanie.

Poza zjawiskami przebiegającymi na powierzchni zachodzą również zjawiska wewnątrz materiałów, powodujące poprzez adsorpcję i następną absorpcję wymieszanie substancji lub poprzez chemosorpcję zmiany składu materiałów. Ponadto wewnątrz materiałów mogą zachodzić te zjawiska także wskutek rekrytalizacji, przemian strukturalnych, dyfuzji lub innych procesów migracji, w wyniku których mogą niektóre składniki materiałów znaleźć się na ich powierzchni (na przykład wskutek migracji plastifikatora albo dyfuzji cynku z mosiądzu do powłoki cyny).

Powyższe zjawiska, przebiegające wewnątrz materiałów lub na ich powierzchni, są często przyspieszane lub też dopiero inicjowane przez następujące czynniki:

- a) ciepło (zgodnie na przykład z prawem Arrheniusa);
- b) łuk elektryczny;
- c) katalizatory;
- d) tarcie (na przykład polimeryzacja spowodowana tarcie);
- e) naprężenia mechaniczne (na przykład korozja naprężeniowa);
- f) napięcie elektryczne (na przykład migracja srebra);
- g) elektrolity lub inne ośrodki;

h) kombinowane działanie powyższych czynników.

4.2. Mechanizmy wad

Spośród przyczyn wad należy wyszczególnić przede wszystkim poniższe zjawiska chemiczne i elektrochemiczne, z których pierwsze są związane z powinowactwem chemicznym, a drugie z zasadą ogniwa galwanicznego, czyli przechodzeniem do roztworu metalu mniej szlachetnego.

K o r o z j a, czyli wszystkie niezamierzone zmiany materiałów metalicznych, rozpoczynające się na ich powierzchni.

R d z e w i e n i e, to jest wytwarzanie się z żelaza pod wpływem tlenu z powietrza i wilgoci różnych uwodnionych tlenków żelaza o wzorze ogólnym $x \cdot \text{FeO} \cdot y \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot z \cdot \text{H}_2\text{O}$.

S n i e d ź, czyli $\text{Cu}/\text{OH}/_2 \cdot \text{CH}_3\text{COO}/_2\text{Cu}$, wytwarzająca się wskutek działania kwasu octowego na miedź i jej stopy.

S i a r c z e k s r e b r a Ag_2S , wytwarzający się przez działanie siarkowodoru na srebro.

T l e n e k s r e b r a Ag_2O , wytwarzający się wskutek działania tlenu z powietrza lub ozonu na srebro.

A z o t a n s r e b r a AgNO_3 , wytwarzający się wskutek działania azotu z powietrza na srebro przy ładowaniach elektrycznych.

P r o s z e k b r u n a t n y, czyli niepożądany produkt polimeryzacji (łączenia się małych cząsteczek chemicznych w wielką cząsteczkę, bez wydzielania

się przy tym produktu ubocznego), wytwarzający się wskutek tarcia.

W a r s t e w k i k r z e m i o n k i SiO_2 , wytwarzające się na styczkach wskutek rozpadu makrocząsteczek związków krzemorganicznych (silikonów) w wyniku dużych obciążeń cieplnych, na przykład łuku, czyli w wyniku dysocjacji termicznej. Ponadto, zwłaszcza w przypadku olejów i smarów krzemorganicznych, może występować inny proces przemian, przy którym powstają wskutek utleniania pochodne, wydzielające się w postaci lotnych substancji. Pozostałość tworzy natomiast nowe pochodne typu kauczuków lub żywic, które z powodu ich dużej twardości wpływają niekorzystnie na styk.

N a g a r (osad węgla wskutek wypału), wytwarzający się podobnie jak w procesie krakowania, czyli wskutek procesów rozpadu, z którego pozostałość osadza się na styczkach. Zwęglaniu podlega nafta lub podobne substancje.

K r y s z t a ł y w ł o s k o w a t e (whisker), czyli bardzo drobne nieorganiczne lub organiczne monokryształy o kształcie włosków i średnicy poniżej mikro- oraz bardzo dużej wytrzymałości, które wyrastają jeszcze z niedokładnie znanych przyczyn (tylko ślady SO_2 wydają się niezbędne) z powierzchni metali, zwłaszcza cyny i srebra, i mogą powodować zwarcia. Niekiedy jednak, jak na przykład w przypadku przerwy w żyłach przewodów, są one pożądane.

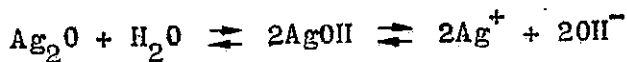
Spośród zjawisk fizycznych znaczenie mają:

A d s o r p c j a, czyli osadzanie się lub zagęszczenie się cząsteczek na powierzchni albo granicach faz wskutek molekularnych sił przyciągania, bez udziału wiązań chemicznych. Gdy z czasem wystąpi również chemiczne wiązanie, wtedy zjawisko nazywa się c h e m i s o r p c j ą, a gdy osadzanie się potęguje pole elektrostatyczne, zjawisko to nazywa się p r z y c i ą g a n i e m e l e k t r o s t a t y c z n y m.

A b s o r p c j a, to jest pochłanianie gazów przez ciecz lub ciało stałe, bez udziału wiązań chemicznych.

D y f u z j a, czyli wędrowanie atomów w fazach wieloskładnikowych.

M i g r a c j a, czyli przejście jednego ze składników tworzywa sztucznego do ciała stałego przylegającego do tego tworzywa (na przykład migracja plastyfikatora) albo też w przypadku srebra wędrowanie tego metalu, gdy utworzą się elektrody ze srebra o pewnej różnicy potencjałów, między którymi znajduje się materiał izolacyjny adsorbujący lub absorbujący wodę z atmosfery o odpowiednio dużej wilgotności, w wyniku czego zachodzi reakcja



Tak więc tlenek srebra przechodzi jako anoda do roztworu, a jony srebra wędrują pod wpływem napięcia na powierzchni lub, rzadziej, wewnątrz materiału izolacyjnego oraz tworzą przewodzące mostki.

E r o z j a, czyli oddzielanie się materiału, występujące zwłaszcza w styczkach.

K a w i t a c j a, czyli szczególna postać erozji, spowodowanej przez kapiącą ciecz.

P ł y n i ę c i e, czyli odkształcanie się plastyczne materiału, przebiegające w dalszym ciągu mimo zmniejszenia się działającej siły (po przekroczeniu granicy plastyczności), którego badania wraz z badaniami pełzania obejmują dziedzinę nauki, nazywaną reologią.

P e ł z a n i e, czyli odkształcanie się plastyczne materiału przy nie zmieniającym się obciążeniu.

P ę c z n i e n i e, to jest zwiększenie wymiarów ciała wskutek pochłaniania cieczy.

S k u r c z, to jest zmniejszenie wymiarów ciała wskutek wydzielenia cieczy lub, jak w przypadku włókien, wskutek pochłaniania wody.

R e k r y s t a l i z a c j a, czyli przemiana mikrostruktury krystalicznej bez zmiany jej rodzaju albo też utworzenie nowej struktury po zniszczeniu jej przez uprzednie działanie ciepła lub innego rodzaju energii.

Spośród zjawisk elektrycznych należy wymienić **p r z e b i c i e** i **p r z e s k o k**, w których szczególne znaczenie mają, podobnie jak we wszystkich innych procesach, **niejednorodności**. Niejednorodności te powstają, gdy składniki danego materiału nie są równomiernie rozmieszczone lub gdy chemicznie jednorodny materiał wykazuje różnice gęstości względnie też miejscowe różnice naprężeń w strukturze albo nawet całkowicie różne struktury (na przykład termoelementy z wyżarzonego i niewyżarzonego drutu miedzianego). Całkowita jednorodność materiału jest przy tym z zasady niemożliwa, gdyż w

każdym materiale znajdują się wtrącenia ciał obcych, nieciągłości, rysy, granice ziarn, naprężenia itp., które wpływają w sposób istotny nie tylko na wytrzymałość mechaniczną, lecz również elektryczną.

P r z e b i c i e c i e p l n e występuje zwykle w środku dużych wyrobów, gdy przy przepływie prądu zachodzi zwiększenie przewodności elektrycznej z powodu złego odprowadzania ciepła. W takich warunkach tworzą się cienkie, przewodzące prąd kanaliki, powstające wzdłuż miejsc niejednorodności, coraz liczniejsze w miarę upływu czasu, co prowadzi w końcu do wytopienia szerszych kanalików i przebicia.

P r z e b i c i e c h e m i c z n e jest w zasadzie podobne do przebicia cieplnego. W zamian nagrzewania się zachodzą jednak podczas niego procesy rozkładu chemicznego, którego produkty zwiększają przewodność elektryczną, coraz bardziej w miarę upływu czasu, a dodatkowo przewodność tę może jeszcze zwiększyć jednoczesne nagrzewanie się materiału.

P r z e b i c i e e l e k t r y c z n e jest także w zasadzie podobne do poprzednich dwóch rodzajów przebić. Zwiększenie przewodności następuje podczas niego wskutek wewnętrznej emisji polowej lub wskutek jonizacji w wyniku zderzeń elektronów, przy czym intensywność tych procesów narasta lawinowo.

P r z e s k o k jest to w uproszczeniu przebicie powierzchniowe, a kanaliki wytwarzające się wówczas ponad miejscami niejednorodności są to tory wyładowania pełzającego. W przypadku przeskoku należy rozróżniać roz-

małe stadia zjawiska wyładowania, a mianowicie wyładowanie jarzeniowe, wyładowanie smużyste oraz wyładowanie snopiące (rys. 7).

Przebiecia i przeskokki są niepożądane, jeżeli występują one w materiałach, których zadaniem jest izolowanie. Gdy natomiast warstewki elektroizolacyjne lub półprzewodzące są niepożądane, co dotyczy na przykład warstewek na styczkach, wtenczas tego rodzaju zjawiska elektryczne, nazywane w takim przypadku *omywaniami*, są bardzo korzystne, gdyż warstewki na styczkach mogą być dzięki nim przebite przy natężeniu pola 10^6 V/cm. Z tego właśnie wynika zasada, iż przy badaniu zestyków nie należy przekraczać napięcia 20 mV, aby uniknąć omywania.

Przebiecia korzystne są również w przypadku zjawiska regeneracji, występującego w kondensatorach z papieru metalizowanego oraz w kondensatorach z folii metalizowanej, gdyż dzięki wyładowaniom w kondensatorach tych następuje wypalenie miejsc przewodzących, co je unieszkodliwia. Nieco bardziej spokojnie przebiegającym zjawiskiem jest regeneracja elektrochemiczna, podczas której strumień jonów utlenienia w czasie pracy cząsteczki przewodzące, czyniąc je nieprzewodzącymi.

Innym zjawiskiem jest tzw. zjawisko łuszczenia, które występuje zwłaszcza w warstwach metalicznych naparowanych na materiały izolacyjne, jak na przykład w wyżej wspomnianych kondensatorach, gdy podlegają one udarowym obciążeniom elektrycznym. W takich warunkach zachodzi odprysnięcie warstewek metalicznych, podobne do odpry-

skiwania kory drzew, występującego często przy uderzeniach piorunu. Według przypuszczeń teoretycznych zjawisko to jest powodowane przez wytwarzanie się pary w warstwie pośredniej albo też przez różne współczynniki rozszerzalności względnie falę uderzeniową.

5. ŚRODKI PRZECIWDZIAŁANIA WADOM

Zasadnicze środki przeciwdziałania wadom są następujące:

1. Środki zaradcze konstrukcyjne, jak osłony przed kurzem, właściwe materiały (o odpowiedniej czystości i zgodności), wzmocnienia mechaniczne, a także środki zaradcze organizacyjne, jak ulepszone badania i technologia wykonania.

2. Zmniejszenie oddziaływania czynników otoczenia (atmosfery) przez dobre przewietrzanie urządzeń i pomieszczeń, zastosowanie atmosfer ochronnych, jak najmniejsze stężenia par substancji szkodliwych i tzw. antyatmosfery.

3. Utrzymywanie urządzeń we właściwym stanie przez wymianę uszkodzonych elementów.

Jako pomocnicze środki, zwłaszcza dla służby napraw, mogą ponadto służyć czyszczenie, regulowanie i nanoszenie za pomocą elektroerozji.

Przy czyszczeniu stosuje się metody mechaniczne, jak kilkakrotne zadziałanie przełączników, złącz wtykowych itp., oraz czyszczenie skrobakiem, pilnikiem, papierem

ściernym lub wiórami drewnianymi, z których ostatnie trzy sposoby są problematyczne w skutkach. Ponadto stosuje się środki chemiczne, najbardziej obecnie rozpowszechnione, których działanie jest podobne do działania środków stosowanych do oczyszczania powierzchni przy lutowaniu. Tymi środkami są substancje do czyszczenia styczek, których celowość stosowania jest dotąd sporna.

Ponieważ w większości przypadków skuteczne działanie substancji do czyszczenia styczek jest tym niemniej niewątpliwe, uzasadnionego technicznie powodu odrzucania stosowania powyższych substancji nie ma. Stosowanie ich może bowiem budzić uzasadnioną obawę tylko z powodu możliwości występowania niepożądanego działania ubocznego, które zachodzi jednak w szkodliwym rozmiarze jedynie wtedy, gdy substancje do czyszczenia styczek są stosowane bez troski, to jest w zbędnym nadmiarze i bez jego usuwania, ponieważ w takim przypadku mikroklimat będzie zawierać nowe niepożądane składniki. Jeżeli natomiast substancje stosuje się starannie, nanosząc je w najmniejszej niezbędnej ilości i usuwając nadmiar, czyszczenie nimi jest całkowicie uzasadnione i pomocne.

Warstewki smarów usuwa się najczęściej trójchloroetylenem, czterochloroetylenem, czterochlorometanem lub fluorochloropochodnymi węglowodorów (na przykład trójfluorotrójchloroetanem), z których ostatnie są często stosowane jako uniwersalne substancje czyszczące, m.in. do oczyszczania gotowych obwodów drukowanych przez zaindukowanie. Natomiast warstewki produktów korozji i nagaru są najczęściej bardzo trudne do usunięcia.

Regulowanie, podobnie jak czyszczenie, jest dopuszczalne przy zachowaniu odpowiedniej ostrożności. W praktyce operacje regulowania powodują jednak często więcej szkody niż korzyści.

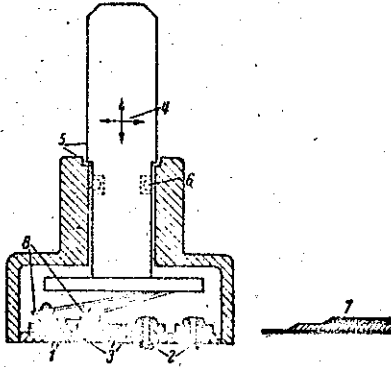
Nanoszenie na metale nieszlachetne metali szlachetnych za pomocą elektroerozji polega na wytwarzaniu iskrzenia, w którego wyniku z elektrody wykonanej z metalu szlachetnego odrywają się drobne jego cząsteczki, osadzające się w postaci cienkiej, chropowatej warstewki na katodzie, będącej styczką z metalu nieszlachetnego. Przy nanoszeniu tym należy zachowywać podobną ostrożność jak w uprzednio omówionych operacjach.

6. TECHNIKA BADANIA WAD

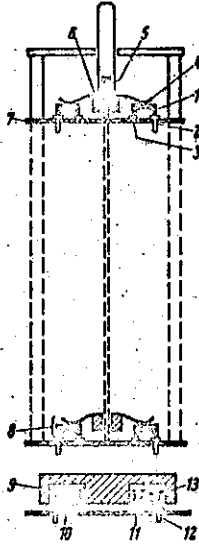
Podczas gdy w sposób przybliżony wady można ustalić za pomocą omierza kieszonkowego, wskaźnika trzasku, fenu i małego przyrządu do opukiwania, szczegóły wad można ustalić często tylko za pomocą bardzo specjalnych i skomplikowanych urządzeń, których niejednokrotnie nie ma na rynku i które trzeba wykonać we własnym zakresie. Także same metody rozpoznawania wadliwych elementów nie zawsze są proste, jeżeli nie dotyczą one zwarć, przerw i wyraźnie widocznych zmian, co jest stosunkowo rzadkim przypadkiem. Dlatego też trzeba często stosować specjalne metody badań.

O trudnościach badania wad świadczy, że do 20% elementów wymontowanych jako wadliwe nie wykazuje potem przy badaniach żadnych wad, jakkolwiek w większości przypadków nie ma żadnej wątpliwości, że zostały one słusz-

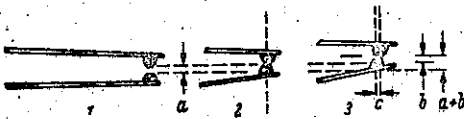
nie wymontowane. Innym, nieco niejasnym zagadnieniem są "nadpsute" lub podejrzane elementy, odnośnie których już wielokrotnie stwierdzono, iż dotąd nie znaleziono uniwersalnego, zwłaszcza szybkiego, sposobu ich rozpoznawania. Spośród kryteriów i sposobów oceny pewne znaczenie uzyskały przy tym pomiar szumów, zniekształceń i krzywych przebiecia, jakkolwiek trzeba zaznaczyć, że między tymi właściwościami i wadliwością elementów tylko rzadko występują jednoznaczne i wyraźne zależności, podawane w literaturze. Dlatego też można powiedzieć tylko ogólnie, że elementy wykazujące znaczne szумы lub zniekształcenia albo też elementy o wyraźnie odbiegających od normalnych przebiegach krzywych przebiecia charakteryzują się większym prawdopodobieństwem uszkodzenia przy określonych rodzajach obciążenia niż elementy normalne. Nierzadko jednak takie niby złe elementy są w rzeczywistości dobre i przeciwnie.



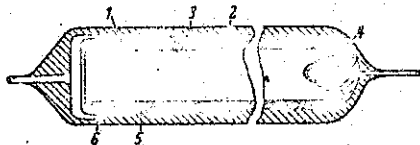
Rys. 1. Opornik warstwowy węglowy obrotowy



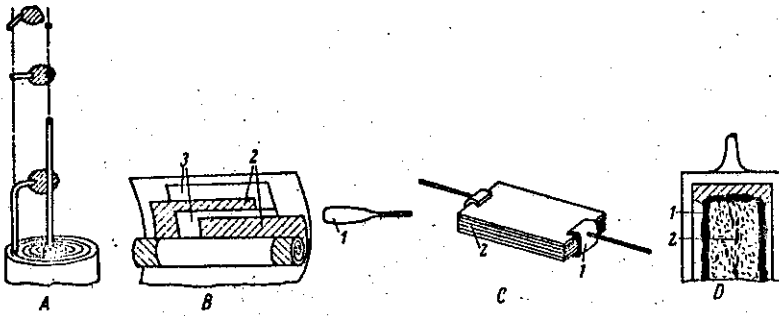
Rys. 2. Przełącznik stopniowy



Rys. 3. Styczki przełącznika
a - szczelina, b - wspólny ruch styczek, a+b - całkowity przesuw, c - droga tarcia

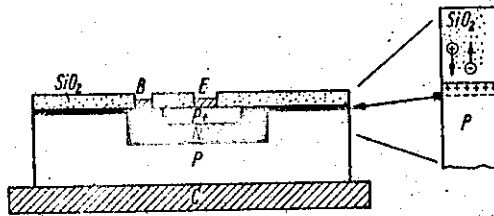


Rys. 4. Opornik warstwowy węglowy stalowy

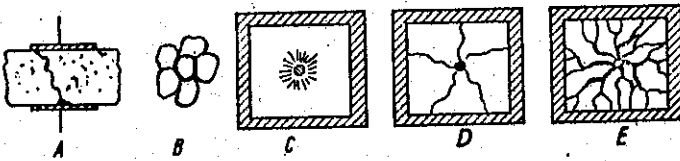


Rys. 5. Kondensatory

A, B - kondensatory zwijane, C - kondensator arkuszowy, D - kondensator elektrolityczny ze spleciem



Rys. 6. Tranzystor planarny pnp



Rys. 7. Rodzaje przebicia

A - przebicie na wskroś, B - nadtopień wzdłuż granic ziarn,
C - wyładowanie jarzeniowe, D - wyładowanie smużyste, E -
- wyładowanie sнопіące



